ISSN　0426－2700

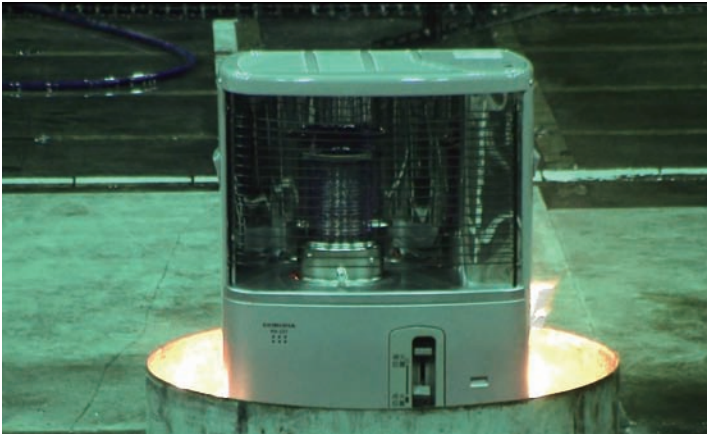
消防研究所報告

通　巻　105号　　　2008年9月

Report of National Research Institute of Fire and Disaster

No.105　September 2008

ガソリンのポリタンク容器貯蔵の火災危険性

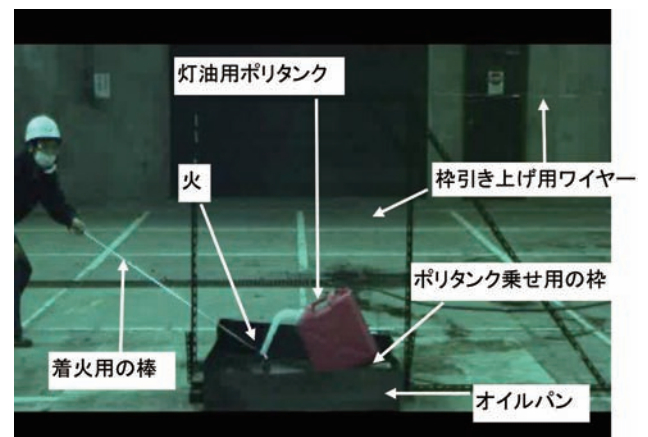
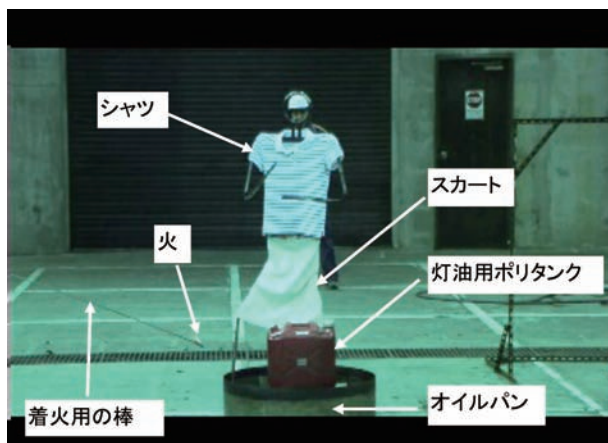
Fire Risk of Illegal Storage of Gasoline in a Polyethylene Container

石油ストーブから漏れたガソリンの蒸気に着火

Ignition to vapor of gasoline leaked from kerosene stove

石油ストーブの背後から炎上

Flare behind kerosene stove

石油ストーブにガソリンを誤注油した場合の危険性、本文 36 頁参照

Experiment on Kerosene Stove Accidentally Fueled by Gasoline, See also page36.

ガソリン蒸気の漏えい実験
上：着火直前の状況　　下：着火後 30 秒の状況

Experiment on leaked gasoline vapor
Upper : The condition just before igniting
Lower : The condition 30 seconds after igniting

タンクの転倒実験、本文　頁参照
上：着火直前の状況　　下：着火後 6 秒の状況

Experiment on the rollover of an ignited container,
Upper : The condition just before igniting
Lower : The condition 6 seconds after igniting

ガソリン蒸気の漏えいとタンクの転倒、本文 30、31 頁参照

Experiments on Leaked Gasoline Vapor and the Rollover of an Ignited Container, See also page30, 31.

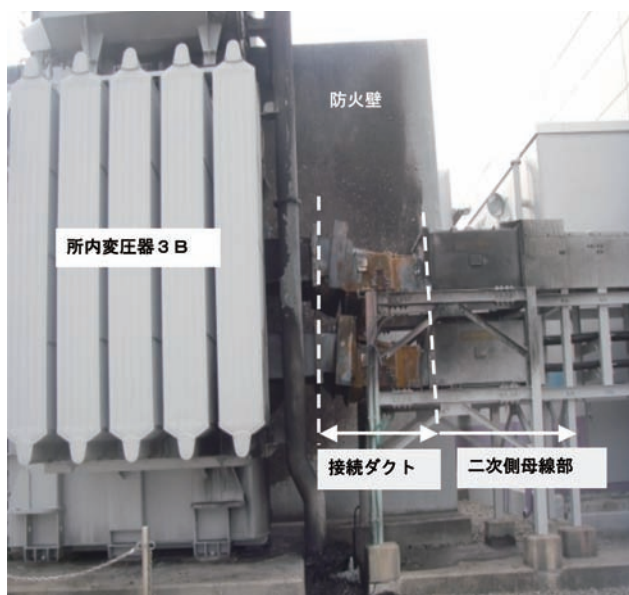
佐渡市相川の木造密集地における延焼火災の調査

Report of the Investigation of a Wooden Buildings Fire in Aikawa, Sado-city

小屋裏を経路として延焼が進行した様子。左の写真は、小屋裏に延焼が進み軒裏から白煙（矢印）が噴出している状況。右の写真は、２階室内がフラッシュ・オーバーの状況（左の写真から５分後に撮影）。いずれも佐渡市相川・磯野氏撮影、本文 14 頁参照

Fire spreaded under the roofs of some houses. The left picture shows that white smoke (showed by the arrow) ejected from under the eaves after the fire spreaded under the roof. The right picture, which was taken 5 minutes after the left picture was taken, shows flashover occured in the upstairs room. Every picture was taken by Mr. Isono, Aikawa, Sado-city, see also page 14.

東京電力（株）柏崎刈羽原子力発電所内で発生した変電器家裁の調査結果

Investigation Results on the Causes of the Fire of the House Transformer at Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station

所内変圧器３Ｂ、接続ダクト、二次側母線部、防火壁の状況 、本文２頁参照

Overview of the house transformer 3B, connecting ducts and the firewall, see also page 2.

所内変圧器３Ｂ接続ダクトの溶融穴の状況、本文３頁参照

Connecting ducts and melted holes, see also page 3.

目　　次

— Contents —

技術報告

東京電力㈱柏崎刈羽原子力発電所内で発生した変圧器火災の調査結果

田村　裕之、藤原　正人*、笠原　孝一**

(平成 20 年 7 月 4 日受理)

平成 19 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震（マグニチュード 6.8）の地震が発生した。これに伴い、柏崎刈羽原子力発電所内の３号機所内変圧器３Ｂにおいて火災が発生した。ここでは、変圧器火災の概要と出火の原因について報告する。

主な内容は以下の通りである。

所内変圧器３Ｂにおいて、変圧器二次側接続部が地震の影響で所内変圧器の基礎に対して沈下したため、変圧器二次側接続部が破損した。この際、変圧器二次側電極のブッシング部分が破損し、変圧器内部に封入されていた絶縁油がダクト内に噴出したと考えられる。そして、ダクト内で電極とダクトの間で放電が始まりアーク放電に移行したと考えられる。このアークの熱により、噴出している絶縁油が着火し、火災となった。

１．はじめに

平成 19 年 7 月 16 日 10 時 13 分頃に新潟県上中越沖(北緯 37 度 33.4 分、東経 138 度 36.5 分、深さ約 17 ㎞）を震源として発生したマグニチュード 6.8 の地震に伴い、新潟県柏崎市の東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所内の３号機タービン建屋所内変圧器３Ｂにおいて鎮火までに約２時間を要する火災が発生した。

この火災について、消防法第 35 条の 3 の 2 の規定により、柏崎市消防本部消防長から消防庁長官に対して火災の原因の調査の要請があった。

ここでは、調査結果をもとにした変圧器火災の概要と出火の原因について報告する。

２．火災の概要

2.1　出火場所等

出火場所：新潟県柏崎市青山町 16 番地３
　　　　　柏崎刈羽原子力発電所
　　　　　３号機タービン建屋南側屋外
出火施設：３号機所内変圧器３Ｂ
　　　　　昭和 63 年 7 月建設着工
　　　　　平成 5 年 8 月営業運転開始

なお、ここでの「所内」とは、発電所内で電力を使うために用意された装置という意味である。３号機所内変圧器３Ｂを以下「変圧器」と表す。

2.2　時間経過

出火日時：平成 19 年 7 月 16 日　10 時 14 分頃
入電日時：平成 19 年 7 月 16 日　10 時 27 分
指令日時：平成 19 年 7 月 16 日　10 時 59 分
鎮圧日時：平成 19 年 7 月 16 日　11 時 40 分
鎮火日時：平成 19 年 7 月 16 日　12 時 10 分

2.3　焼損状況

図１のような配置になっている３号タービン発電機の変圧器１基、高圧線ケーブル、ダクト、コンクリート壁を焼損した。

2.4　死傷者の状況

本火災による死傷者は発生していない。

2.5　初期消火の状況

作業員が 2 箇所の消火栓ボックスからホースを延長し、屋外消火栓のバルブを開き放水を開始したところ水が出なかった。そのため放水口を変え放水を開始したが、水は 2 メートルくらいしか飛ばなかった。２号機敷地内の地上式消火栓を使用し消火を試みたが、放水の状況は変わらなかった。

水圧が弱く水が届かないため、近づいて消火作業を続けたが油がボタボタ落ちているような状態であり放水量

* 川崎市消防局　**東京消防庁

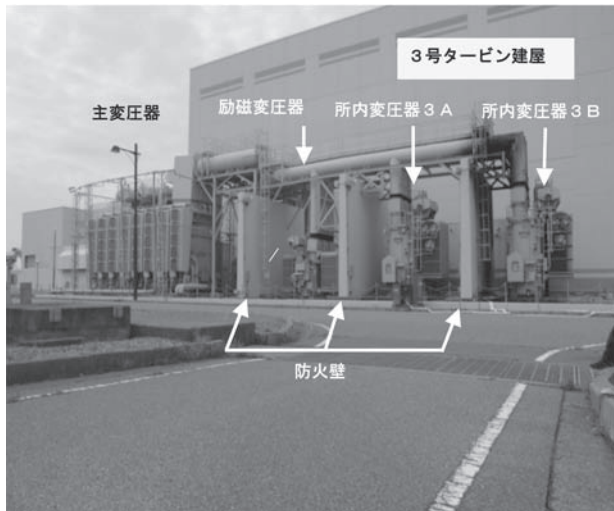



図１　所内変圧器、タービン建屋、防火壁の状況

も少なく消火効果がなく爆発危険もあると判断し、ホースを固定したのち避難している。

2.6　先着消防隊の状況

柏崎市消防本部の先着の消防隊が、発電所職員の誘導で３号機変圧器付近に到着すると、変圧器付近に黒煙は確認できたが炎は確認できなかった。

火災現場では、3箇所の消火栓からホースが延長され、2本の筒先が立てかけられて少量の水が放水されている状態であった。

発電所職員より通電していない旨の情報を得たことから、消火活動を開始した。トランス寄りの部分から黒煙が出ていたが炎は確認できなかった。化学砲で消火を実施すると黒煙の量が少なくなり11時40分に鎮火状態となった。

３．消防庁長官の火災の原因の調査人員

総務省消防庁では、予防課、危険物保安室、消防研究センターから、火災発生翌日の平成19年7月17日から20日までの4日間、延べ人数20名を現地に派遣し調査を実施した。なお、派遣日ごとの派遣人数は次に示すとおりである。

平成19年7月17日	予防課	1名
	危険物保安室	1名
	消防研究センター	3名
平成19年7月18日	予防課	1名
	危険物保安室	1名
	消防研究センター	3名
平成19年7月19日	予防課	1名
	消防研究センター	4名
平成19年7月20日	予防課	1名
	消防研究センター	4名
	延べ人数	20名

４．出火した変圧器の概要

出火した変圧器は、タービン発電機の発生電力の一部を所内動力用の電源として使用するため、発電機と主要変圧器の間から分岐して、定格電圧で入力側にあたる一次側18.525 kVを出力側にあたる二次側6.9 kVに降圧する降圧用変圧器である。なお、定格電圧は装置名板により確認した。

変圧器は三相交流で入出力するものでΔ－Y結線により二次側に中性点接地がなされている。各相をそれぞれU、V、W相と呼んでいる。

変圧器内部には絶縁油（消防法第４類第３石油類）が約17,000 ℓ封入されている。

５．出火箇所の考察

図２のように焼損の見られる変圧器、接続ダクト、防火壁について検討する。

5.1　変圧器について

変圧器で焼損が激しいのは変圧器北側面で、出力側の二次側ブッシング部が激しく焼損している。ブッシングとは、変圧器ケース部と電極を絶縁し、ケース内の絶縁油の気密を保持する構造部である。

ゴム製ブーツが焼失し茶褐色に変色している一次側ブッシング内部は、端子及び接続配線に焼損は見られない。

変圧器の一次側巻線温度、二次側巻線温度及び油温度

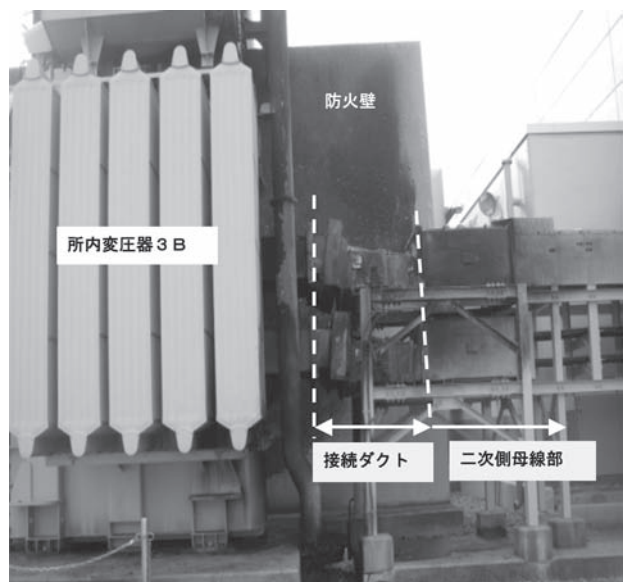



図２　所内変圧器３Ｂ、接続ダクト、二次側母線部、防火壁の状況
（この写真は、図１の右方向から撮影した。）

の温度計は高いものでも 96 ℃であり、絶縁油は引火点 130 ℃[1] 及び発火点 250 ℃[1] まで上昇していない。

変圧器本体の放圧装置は安全ピンが破断しているが放圧板に破損は見られない。

5.2　接続ダクトについて

上段及び下段ダクトともにダクト接続部が破損し図２のように上下に大きくずれている。上段及び下段ダクトともに接続部ダクト周囲は焼損が激しく塗料が焼失し地金が露出している。

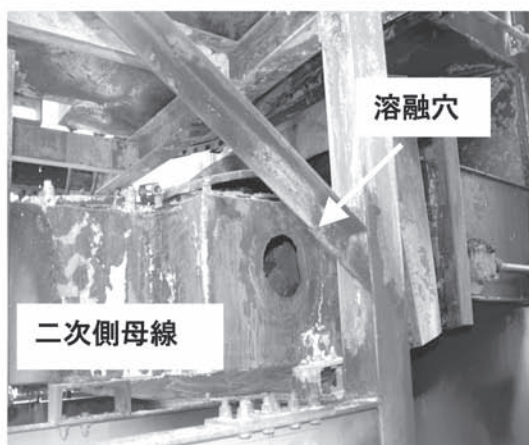
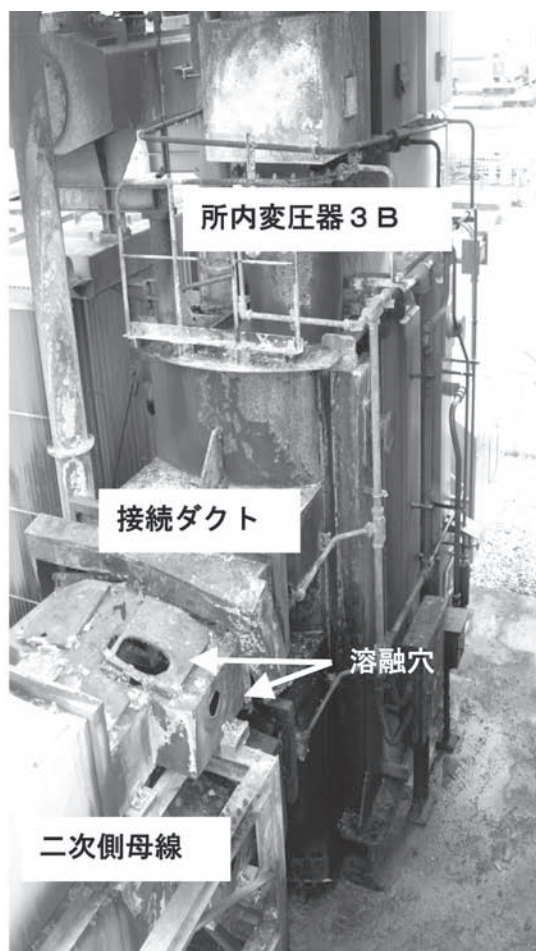



図３のようにダクト上面及び西側面が溶融し楕円形の穴が開いている。

上段及び下段のダクトは図４のように内部の焼損が激しく、変圧器二次側のフレキシブル導体を介してタービン建屋までつながる電極板（二次側接続母線という）のすべては確認できなかったが、接続ダクト内部には銀色の溶融した金属らしき物質及び黒い油状の付着物が確認できる。

5.3　防火壁について

防火壁に焼損が見られるのは図２のように変圧器の側面のみであり、接続部ダクトの高さ付近を中心に黒く変色し、コンクリート表面が剥離している。

以上のことから考察すると、変圧器の本体からの出火は考えにくく、出火したのは、上段及び下段の判定は出来ないが、焼損の激しい変圧器接続部ダクト内部であると判定する。

６．地震動の影響について

平成 19 年 7 月 16 日 10 時 13 分に発生した新潟県中越沖地震において焼損の見られる変圧器及び変圧器接続ダクトに地震動が与えた影響について検討する。

6.1　接続ダクトについて

接続ダクトはダクト接続部を境に二次側ダクト部が二次ブッシングダクトに比べ下方にずれている（図２参照）。また、ダクト接続部が破損し大きくずれて変形している。

タービン建屋側のインジケータが破損、落下しており、落下していたインジケータは砂利に埋まっていない部分のみに焼損が見られたことから、インジケータは破損し落下したのちに焼損したもので、地震時の振動により落下したことが考えられる。

図３　所内変圧器３Ｂ接続ダクトの溶融穴の状況

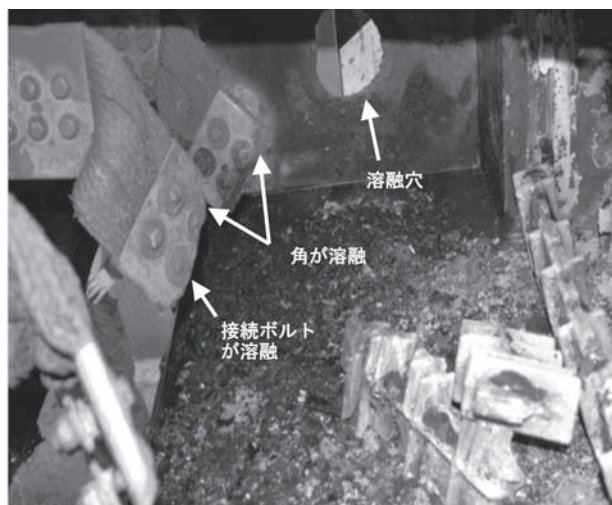



図４　ダクト内部の焼損状況

6.2　地盤の変動について

変圧器基礎部分で変色していない部分が約20 ㎝あったことから地盤面が基礎部分から約20 ㎝沈下していることが考察される。

タービン建屋と接している二次側母線部ダクトの基礎部分は、図５のようにタービン建屋と比べ最大で約28 ㎝沈下している。また、このダクトの基礎部分には変色もなく地盤面との差異は見られない。

３号機タービン建屋の建物は岩盤に岩着しており、変圧器の基礎構造は鉄管杭が岩盤まで打ち込まれているが、二次側接続母線部ダクトの基礎構造は直接基礎構造になっており鉄管杭は打ち込まれていない。

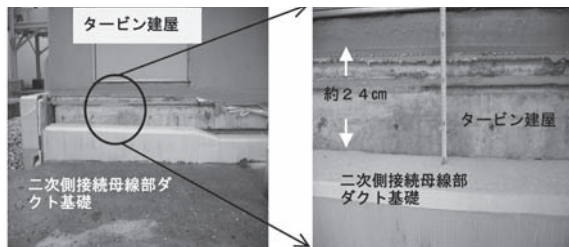



図５　タービン建屋と二次側接続母線部基礎部分の段差

以上のことから、基礎構造の違いもあり二次側接続母線部ダクトの基礎部分は変圧器の基礎部分に比べ20 ㎝以上沈下していたことが考えられる。

6.3　二次側ブッシングについて

上段接続部の二次側ブッシングでは確認できなかったが、下段接続部の変圧器側を見ると、W相の二次側ブッシングの碍子部分が破損しているのが確認できる。

ダクト下の堆積物の中に破損した碍子の破片が確認できた。一番大きな破片を取り出してみると、内側中心部には焼損が見られないことから、火災の影響で破損したのではなく、地震時の振動により破損し落下したのちに焼損したものと考えられる。

基礎地盤の異なるタービン建屋、二次側母線部ダクト、所内変圧機が、地震動の影響により地盤沈下が生じ、その結果、接続ダクト両端の高さの違いが生じたためにダクト内の損傷や絶縁油の噴出が発生してしまった。

7．油の漏えいについて

7.1　油の漏えい状況について

変圧器と３号機タービン建屋を繋ぐ下段接続部ダクト部分から垂れている油が確認できた。油は、基礎部分及び地盤面に垂れ流し状態で地盤面は油で濡れた状態であった。

7.2　油の付着状況

変圧器上部一次側ブッシングから繋がる配管に黒い油状の付着物が確認でき、この付着物の状態を確認すると３本の配管に細かく点状に付着しているのが確認できる。

7.3　漏えい物質の推定

漏えいした油については、接続ダクト部分から漏えいしたものであり、変圧器及び接続ダクト内部で使用されていた油類は、変圧器内部に封入されていた高圧絶縁油のみであることから、配管の黒い油状の付着物及びダクト部分から垂れている油はこの絶縁油であると推定する。

7.4　漏えい発生状況の推定

基礎構造の違いもあり二次側接続母線部ダクトの基礎部分は20 ㎝以上沈下したことが考えられる。

ダクトの構造を図６に示す。ダクトは高さ40 ㎝であり、ダクト内部に設置されている碍子及びフレキシブル導体の高さが15 ㎝である。碍子及びフレキシブル導体はダクト中央に取り付けられていることから、ダクト上下の内面と碍子及びフレキシブル導体との距離は、12.5 ㎝である。

上段接続部の二次側ブッシングは確認できなかったが、下段接続部の変圧器側を見ると、W相の二次側ブッシン

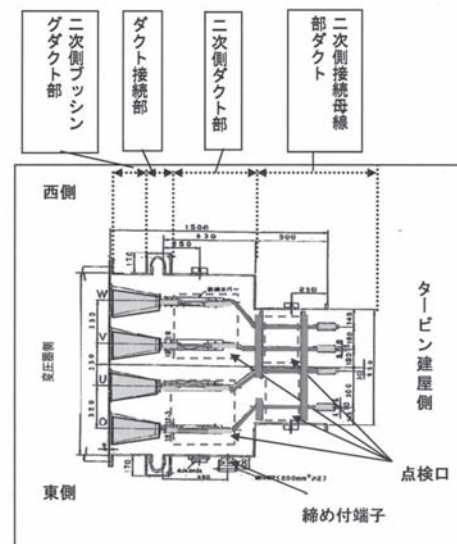
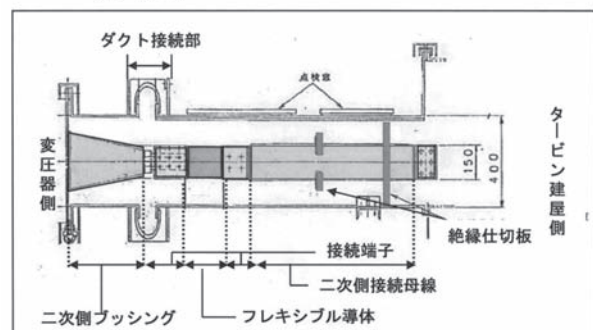



図６　ダクト内電極の構造

グの碍子部分が破損しており、ダクト下の堆積物の中に破損した碍子の破片が確認できる。

ダクト上下の内面と碍子及びフレキシブル導体との距離は、12.5 ㎝であるのに対し、二次側母線部ダクトの基礎部分で20 ㎝沈下している。また、地震により上下方向に大きく振動したことは十分に考えられる。

以上のことから、地震の影響により基礎面の沈下が起こり、上段及び下段のダクト接続部分が破損し、上段及び下段の二次側ブッシング部分がダクト内壁上面と接触して破損したことにより、変圧器内部に封入されていた絶縁油が噴出したものと推定される。

８．発火源について

出火箇所が変圧器と二次側接続母線ダクトを繋ぐ上段及び下段の接続ダクト内部であることから、ダクト外部からの着火及び放火の可能性は低い。また、接続部内部には二次側ブッシングから繋がる３相線及び中性線のみでその他発火源になりえるものがないため、二次側ブッシングから繋がる３相線間の短絡、ダクト破損に伴う衝撃火花、ダクトの接触による地絡に伴う大電流加熱、アーク放電などの放電現象について検討する。

8.1　二次側ブッシングから繋がる３相線間の短絡について

変圧器側の接続端子上部中央及び二次側接続母線部側の接続端子は上部が溶融しているが、３相線に電気溶融痕は見られない。

接続ダクトは水平方向への大きなずれ及び破損は見られず、変圧器付近の地盤面に地割れなどもない。

３相それぞれの導体は350 ㎜間隔で設置されており地震動による影響で接触する可能性は低い。

３号機建屋内の警報装置制御盤の表示を確認すると、変圧器二次側の異常により中性点の零相電圧の上昇を検出して警報を発する「所内変圧器３Ｂ地絡」の表示がなかった。零相電圧は、変圧器の３相のうち、１相の地絡や２相間の短絡により上昇する。３相間の同時短絡か３相の同時地絡が起こった場合は、この警報は発生しない。警報表示によれば、２線間の短絡はなかったと思われる。

以上のことから、二次側ブッシングから繋がる３相線間の短絡については考えられない。

8.2　ダクト破損に伴う衝撃火花

破損の見られるのはダクト接続部である。ダクト接続部はゴム製ブーツで接続されており衝撃火花が発生する可能性は低い。

地震動の影響により衝撃火花が発生したと仮定した場合について考察する。絶縁油の温度は92 ℃を示していて、引火点温度は超えていない。地震の揺れにより衝突が起こったとすれば断続的な衝突になり、連続的に火花が発生しているわけではない。メタンの可燃性混合気雰囲気での衝撃火花による着火は、衝撃火花を発生させるのに十分なエネルギーがあったとしても、20％以下の確率である[2)]。

今回の場合、引火点以下の絶縁油を温め、なおかつ着火させることが必要になり、衝撃火花が絶縁油の着火原因になることは不可能と考えられる。

8.3　地絡に伴う大電流加熱及びアーク放電などの放電現象について

発災変圧器の一次側過渡現象データ[3)]を見ると３相の電圧や電流が同じ変化をしていること、警報装置制御盤の表示で「所内変圧器３Ｂ地絡」の表示がなかったことなどを考えると、３相の同時地絡が考えられる。

図３のようにダクト外周部が溶融し穴が開いた状況になっている。図４のように上段及び下段の変圧器側の接続端子は上部中央が半円形に溶融している。また、二次側接続母線部側の接続端子は上部の角が溶融し丸みを帯びた状態で、接続ボルトや、ダクト内アルミニウム電極板も溶融している。

変圧器二次側の電極は、銅板、銅のフレキシブル平編導線、アルミニウム板で構成されている。変圧器二次側のダクトは鋼製である。電極素材の融点は、銅が1084.5 ℃、アルミニウムが660.37 ℃である。ダクト素材の融点は、素材を鉄とすると1536 ℃である[3)]。この鋼製ダクト素材の組成情報は不明だが、物性値を引用する物質として鉄を用いる。

変圧器二次側ダクトにできた溶融穴と、変圧器二次側電極の溶融が生成された要因として、絶縁油の燃焼による加熱、接続端子とダクトの接触による地絡に伴う大電流加熱、アーク放電などの放電現象などが発生したことが考えられる。以下にこれらについて考察する。

⒜　絶縁油の燃焼熱による溶融

漏えいした変圧器絶縁油が燃焼したと仮定する。ダクト部分の写真を見ると溶融穴以外に大きな開口部ができていないので、ダクト内部はそれほど空気の供給が良い条件ではなかったと考えられ、絶縁油が理想的に燃焼することはなかったと推定される。そのため、絶縁油が燃焼した場合800 ～ 1300 ℃になる[4)]ことが予想されるが、低めの温度であったと推測する。この温度範囲では、アルミニウムの溶融と条件によって銅の溶融が考えられるが、鉄の融点には至らない。実際の鋼製ダクトは矩形を維持した状態で楕円状に溶融穴があいていることから、溶融穴は燃焼熱で生成されたのではなくアーク放電などの別の要因によるものと考えられる。また、図４のように銅電極の接続端子が部分的に半円形に溶融したり接続端子上部の角が丸く溶融したりしている。もし、この溶融が絶縁油の燃焼からの受熱による溶融であれば、銅電極の角部分からの溶融が激しくなるはずであるが、実際には角の残った電極もある。このことから、銅電極の溶融は燃焼熱によることよりも、アーク放電などによるも

のと考えられる。ダクト内のアルミ電極が溶けていることは、絶縁油が燃焼したときの熱でも十分溶けるため、絶縁油が１時間以上燃え続けていた際に溶融したと考えられる。

アルミニウム電極の溶融はアーク放電及び絶縁油の燃焼炎にあぶられたためと考えられ、鋼製ダクトや銅電極の溶融はアーク放電に起因するものと考えられる。

(b)　アーク放電による溶融

変圧器二次側ブッシングの損傷がダクトとの衝突と推定されることから、変圧器二次側電極とダクトは地震の揺れにより接触し、その後、両者の間で放電が発生したと考えられる。ダクトと電極の接触が起こり、地絡が発生した場合、表１にある東京電力の記録[5)、6)] より変圧器二次側の電圧は 6.4 kV（＝ 17.2 kV ／ 18.525 kV × 6.9

表１　変圧器過渡現象のデータ
新潟県中越沖地震で発生した柏崎刈羽原子力発電所３号機における所内変圧器３B 火災の調査状況について（第二報）東京電力（株）（平成 19 年 8 月 7 日）より引用

				読み取りタイミング					
				①スクラム信号発生時	②86G動作（52G遮断前）	③52G遮断直後	④52G遮断1.5秒後短絡直前	⑤52G遮断1.6秒後短絡電流ピーク	⑥52G遮断7.6秒後短絡電流ゼロ
	項目		単位						
1	発電機出力		Mwe	1,114	697	389	0	16	0
2	発電機電流	R相	kA	35.0	22.7	11.9	0	18.6	0
3		S相	kA	35.0	22.7	11.9	0	18.6	0
4		T相	kA	35.0	22.7	11.9	0	18.6	0
5	発電機電圧	R相	kV	19.3	20.1	22.9	17.2	13.2	3.4
6		S相	kV	19.3	20.1	22.9	17.2	13.2	3.4
7		T相	kV	19.2	20.1	22.9	17.2	13.2	3.4
8	界磁電流		A	5,791	6,702	3,892	1,333	1,946	108
9	界磁電圧		V	391.1	541.7	0	0	0	0
10	発電機無効電力		Mvar	371	769	654	0	250	0
11	系統電圧		kV	543	−	−	−	−	−
12	系統周波数		Hz	50.0	−	−	−	−	−

表２　発電機電流（変圧器一次側）の時間変化
発電機遮断機が開となったときが時間０である。２秒から６秒までのデータは柏崎市消防本部を通じ東京電力（株）より提供された。

発電機遮断機開からの時間（秒）	発電機電流（kA）	発電機電圧（kV）
0	11.9	22.9
1.5	0	17.2
1.6	18.6	17.26
2	15.5	11.5
3	12.4	8.3
4	7.8	6.2
5	5.4	4.6
6	3.9	3.8
7	1.6	3.4
7.6	0	3.4

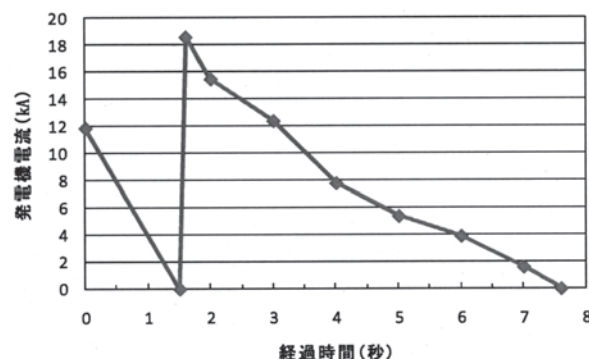
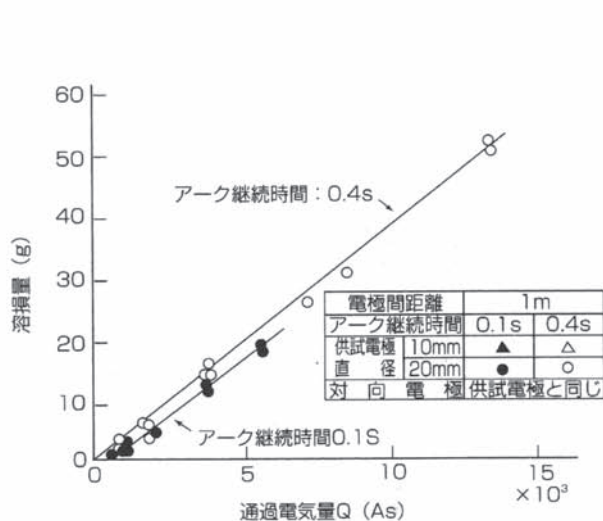
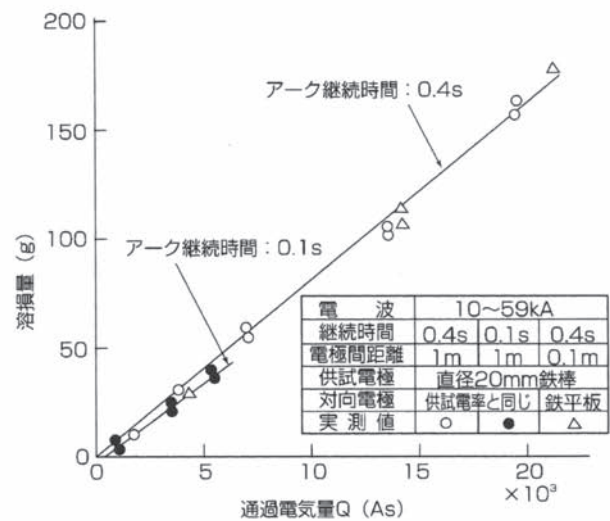



図７　発電機電流（変圧器一次側）の時間変化。横軸に経過時間、縦軸に発電機電流をとり表２のデータをプロットした。

kV）の高電圧であったため、電極とダクトの接触により、その接点に大電流が流れジュール熱により高温となり電極の溶融が起こったと考えられる。東京電力の記録より接触時の変圧器二次側の電流は50 kA（＝18.6 kA × 18.525 kV / 6.9 kV）となり、地絡の発生後、ダクトと電極が離れたとしても変圧器二次側電極とダクトの間で大電流アーク放電が開始されたと考えられ、kA級の電気量であることから電極から高速で金属蒸気が噴出するアークジェットも発生したと考えられる。

アーク放電は、陰極及び陽極の近傍の陰極点及び陽極点と、陰極点と陽極点の間の放電経路となる明るく輝く陽光柱からなる。陰極が鉄や銅、アルミニウムの場合、陰極点の温度は2000 ℃以上の高温に達する[7)]。また、陽光柱は、陰極点温度を上回る数千℃以上の高温となる。

電極の溶損には、以下の二つの現象が考えられる。ひとつは、kA級の大電流アークによるアークジェットの発生、もう一つは、大電流アークが発生するとアーク電流の通過電気量に概ね比例するとされている電極金属の溶損である[8)]。

次にこの電極の溶損について考察する。アーク放電に使われた変圧器二次側の電気量を計算する。変圧器の一次側に相当する発電機電流は、表1と表2のように東京電力の資料[6)]と消防本部が調査したデータによれば、18.6 kAが6秒後にゼロになっている。変圧器二次側の電流は、変圧器の変圧比より約50 kA（＝18.6 kA × 18.525 kV / 6.9 kV）となり、これが6秒間で減少し0 A

(1)　鉄の場合　　　　(2)　銅の場合

溶損量：アーク発生直後の電極の重量の差

電極間距離	1m	
電　　流	5～50kA	
継続時間	0.1s	0.4s
実測値	●	○
供試電極	直径20mm	
対向電極	供試電極と同じ	

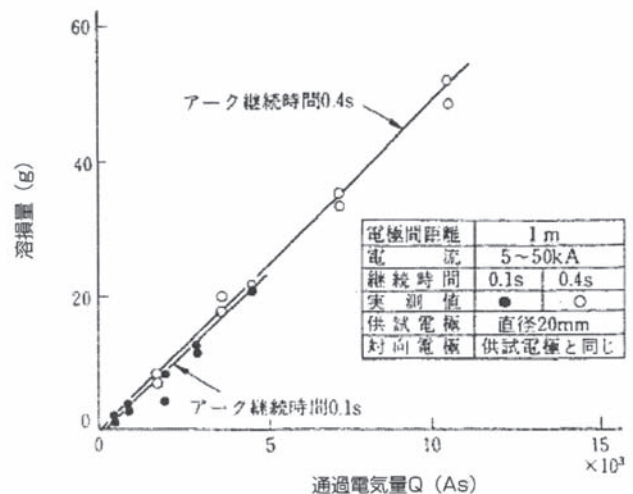



図8　交流アークによる金属の溶損　　　(3)　アルミニウムの場合

になっている。この約6秒の間、アーク放電が継続したと考えられる。図7のようにその間の電流変化は直線的に減少しているので、流れた電気量は時間と電流の積になるため、おおよそ1/2×50×6 kAsとなり、1相あたり150 kAsとなる。3相での合計は約450 kAsとなる。この電気量からアークジェットとアークによる溶損量を求める。

アークジェットによる銅電極の消耗量は、単位電気量（As）当り真空アークとすれば100 μg/Asに達することがあるので、アークジェットによる消耗は、多く見積もると約45 g（＝450 kAs×100 μg/As）となる。

アークによる電極の溶損量は、アーク電流の通過電気量に概ね比例することが知られている[8)]。文献によれば、図8⑴の継続時間0.4 sを例にとれば、鉄の場合、通過電気量5 kAsのとき約20 gが溶損する[8)]。先の計算のように3相での合計通過電気量は約450 kAsとなる。電極が鉄とした場合、通過電気量5 kAsのとき約20 gの溶損とすると、3相の合計では約1800 gとなる。

一方、ダクトの開口部の大きさは、縦横の最大値で計測すると、

上段ダクト	上面	320 mm×170 mm	1箇所
	側面	120 mm×140 mm	1箇所
下段ダクト	上面	220 mm×170 mm	1箇所
	側面	130 mm×145 mm	1箇所

となる。ダクトの板厚は2.3 mmである。溶融穴を楕円と仮定し、鉄の比重を7.874として溶損した鉄の重さを計算すると、合計で約1800 gとなる。

電気量のすべてが鉄の溶損に寄与したと仮定すると、試算した値と概ね近い値となる。ダクトの溶融穴はアーク放電により作られたと考えられる。

次に、ダクト内の変圧器二次側電極のアーク放電による溶損を検討する。

銅電極は、図8⑵の継続時間0.4 sのように通過電気量5 Asのとき約30 gが溶損する[8)]。銅電極の溶損量は、写真で確認した範囲では目立って大きなものはないが、フレキシブル導体を固定しているボルト固定部分の溶融が見受けられる。

アルミニウム電極は絶縁仕切板の部分まで溶融してしまっている。交流電源におけるアルミニウム電極のアーク放電による溶損量[9)]は図8⑶のように通過電気量5 kAsのとき約22 gである。通過電気量がすべてアルミニウムの溶損に寄与したとすると、約1980 gとなる。図からアルミニウム板電極の体積は約675 cm 3（＝30 cm×15 cm×1.5 cm）となり、比重を2.7とすると電極一本での重量は約1822 gとなる。

ダクト内のアルミ電極は4極とも絶縁仕切板の部分まで溶融しているが、この溶損量の試算より、一部はアーク放電による溶損で、他の大部分は、1時間以上継続した絶縁油の燃焼による加熱で溶融したものと推定する。

以上のダクト溶融穴の生成過程や電極の溶融過程の推定より、変圧器二次側ダクト内でアーク放電が発生したと考えられる

8.4　発火の推定

以上のことから、まず、地震の揺れにより変圧器二次側ダクト内のブッシングや電極板がダクトの上下または左右の面と衝突し、ブッシングを損傷した。これにより上段ダクト内及び下段ダクト内への変圧器内絶縁油の噴き出しが始まった。また、これと同時期に地震の影響により上段ダクト内及び下段ダクト内の3極U、V、W相に設置されているフレキシブル導体両端の変圧器側の接続端子及び二次側接続母線部側の接続端子がダクト内側部分と接触したことにより、地絡による放電火花や電極が溶融するくらいの大電流による発熱、2000 ℃以上のアークを伴うアーク放電の発生がダクト内で起こった。ブッシングの損傷により噴き出していた絶縁油が主にアークの熱により発火したものと考えられる。アーク放電が終了しても、絶縁油の噴出が継続していたため、1時間以上にわたり燃焼が継続した。

9．まとめ

本火災は、平成19年7月16日10時13分頃に新潟県上中越沖（北緯37度33.4分、東経138度36.5分）震源の深さ約17 ㎞で発生したマグニチュード6.8の地震に伴い、新潟県柏崎市の東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所内の3号機所内変圧器3Bにおいて、地震の振動及び周辺地盤の沈下の影響により上段及び下段の変圧器二次側接続部ダクトが破損した。この際、変圧器二次側電極のブッシング部分が破損し、変圧器内部に封入されていた絶縁油がダクト内に噴出したと考えられる。

そして、ダクトが破損した際に上段及び下段の三相電極のU、V、W相に設置されているフレキシブル導体の変圧器側の接続端子及び二次側接続母線部側の接続端子がダクト内側部分と接触したことにより、地絡及び放電が発生し、2000 ℃以上のアーク放電がダクト内で発生したと考えられる。そして、アークが発生したダクト内で、ブッシングの破損により噴出していた絶縁油が着火したものと推定する。

また、タービン建屋、接続ダクト、変圧器など繋がりのある施設は、地震動の影響により上下方向の変動が生じないように同一の基礎構造とすることが望ましい。

なお、今回の出火原因として考えられるアーク放電の電極溶損については、消防研究センター火災原因調査高度支援専門員の浅野和俊山形大学名誉教授のご助言を頂いた。

参考文献

1）高圧絶縁油の商品安全データシート、510020-24、日本石油株式会社
2）内田、佐藤、井原、“自由落下による衝撃摩擦火花のメタンガスへの着火性”、鉱山と保安、Vol.31, No.7, 1985
3）国立天文台、理科年表、p.391、丸善、2004
4）日本火災学会監修、火災と消火の理論と応用、p.124、東京法令出版、2005
5）東京電力株式会社、新潟県中越沖地震で発生した柏崎刈羽原子力発電所３号機における所内変圧器３B火災の調査状況について（第二報）、平成19年8月7日
6）東京電力株式会社、柏崎刈羽原子力発電所３号機所内変圧器３Bの火災について（中間報告）、平成19年8月23日
7）電気学会放電ハンドブック出版委員会編、放電ハンドブック上巻、p.192、電気学会、1998
8）電気学会放電ハンドブック出版委員会編、放電ハンドブック上巻、pp.209-210、電気学会、1998
9）渋谷、稲葉、合田、“棒電極端面に形成された大電流交流アーク放電による電極溶損”、電気学会論文誌B、113巻4号、pp.327-334、電気学会、1993

Investigation results on the Causes of the Fire of the House Transformer at Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station

(Abstract)

Hiroyuki Tamura, Masato Fujiwara* and Koh-ichi Kasahara**

(Accepted July 4, 2008)

The Niigata Chuetsu Oki Earthquake (M6.8) occurred on July 16, 2007. In Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station, a fire occurred at the House Transformer 3B of Unit No.3.

We report the outline of a fire of the House Transformer and the causes of the fire.

The main contents are as follows.

At the House Transformer 3B, because the secondary connecting bus of the transformer was subsided against the foundation of the transformer, the secondary connecting bus ruptured. Then the bushing of the secondary side of the transformer ruptured, and the insulated oil leaked out the ducts of the secondary connecting bus.

And the duct contacted to the connecting terminals, arc discharge occurred between the duct of the connecting bus and the connecting terminals in the duct. The insulated oil leaked ignited by the heat of arc discharge.

* Kawasaki City Fire Department

** Tokyo Fire Department

技術報告

佐渡市相川の木造密集地における延焼火災の調査

杉井　完治、篠原　雅彦

（平成 20 年 7 月 11 日受理）

2008 年 1 月 14 日に新潟県佐渡市で発生した火災の調査を行った。この火災は木造建物が密集した商店街で発生し、2118.82m^2 が焼損した。火災発生当時は平均 8.4m/s の風が吹いていたが、延焼はそれとは逆方向に進み、部分的には 1.2m/min という速い延焼速度を持っていた。火の粉の飛散は、火災区域の風下側では火災区域から 150m 離れた場所に達していたが、飛び火による被害はなかった。調査結果からは、消防隊の集結に時間を要する地方都市における消火活動の困難性がうかがわれた。この火災からは、地方都市の有する消防活動の困難性を前提にして、隣棟延焼を防ぐ対策を講じることの必要性が示唆される。

１．はじめに

平成 20 年 1 月 14 日早朝、新潟県佐渡市相川の木造建物が密集した商店街で建物火災が発生し、住宅兼店舗や住宅など計８棟 2118.82m^2 が焼損した。消防研究センターでは、強風下における延焼状況や火の粉の飛散状況を調査するため、1 月 18 ～ 19 日にかけて現場の調査を行ったほか、消防関係者や住民から情報を入手した。1 月 19 日午前には相川消防署において現場活動検討会が開催されたので、これに参加し、活動隊員から直接聞き取りを行うことができた。本稿では、この調査の結果を報告する。

２．地域の概要

佐渡市は、本土から約 35km 離れた日本海上に位置する（図 1）。平成 16 年に島内市町村の合併が行われて１島１市となり、これに伴い島内４消防本部（うち２本部は消防事務組合）がひとつに統合され、佐渡市消防本部となり現在に至っている。火災当時の消防署所数は４署２支所１出張所２分遣所、消防職員数は約 200 名である。管内人口は約 66,500 人、管内面積は約 855km^2（東京 23 区の約 1.4 倍）である。江戸期、佐渡は金の一大産出地として栄え、特に背後に金山を抱える相川は一時 4 万人の大きな町を形成していた[1)]。本稿で報告する火災が発生したのは、佐渡市相川の中心部、「天領商店街」の一角である。

３．火災の概要

火災の概要は以下のとおりである。

⑴　発生場所　佐渡市相川一町目（相川天領通商店街）、マージャン店１階

⑵　出火日時　平成 20 年 1 月 14 日（月・祝日）　午前 6 時 30 分ころ

⑶　覚知日時　同日午前 6 時 43 分（119 番通報による）

⑷　鎮圧　同日午前 9 時 37 分

⑸　鎮火　同日午前 10 時 52 分

図１　火災現場の位置

⑹　出火原因　たばこの不始末（推定）

⑺　人的被害　死傷者なし

⑻　焼損棟数・焼損面積　計８棟（全焼５棟、半焼２棟、部分焼１棟（アーケード））、2118.82m²

⑼　り災世帯数・り災人員　６世帯11人

４．気象状況

火災時の気象状況を図２に示す。データは、火災現場から南南西に約250mの地点の相川特別地域気象観測所での測定値である。出火から鎮火にいたるまでの間、北西風が卓越し、この間の平均風速は8.4m/s、風速が最も強かったのは７時の12m/sであった。現場と気象観測所は上述のように近く、共に海岸から200m前後内陸の位置にあり、両者の北西側には高い建物がほとんどないため、この風向・風速値は、火災現場での値にかなり近いと考えている。この時間、気温は0℃～3.4℃、天気は曇りまたは雪で、１～2cmの積雪が観測されている。８時に降雪が観測される前に降雪が観測されるのは、同日午前１時の2cm、前日はにわか雪で降水量は0mm、前々日の12日は雨で6.0mmの降水、11日も雨で11.5mmの降水があった。

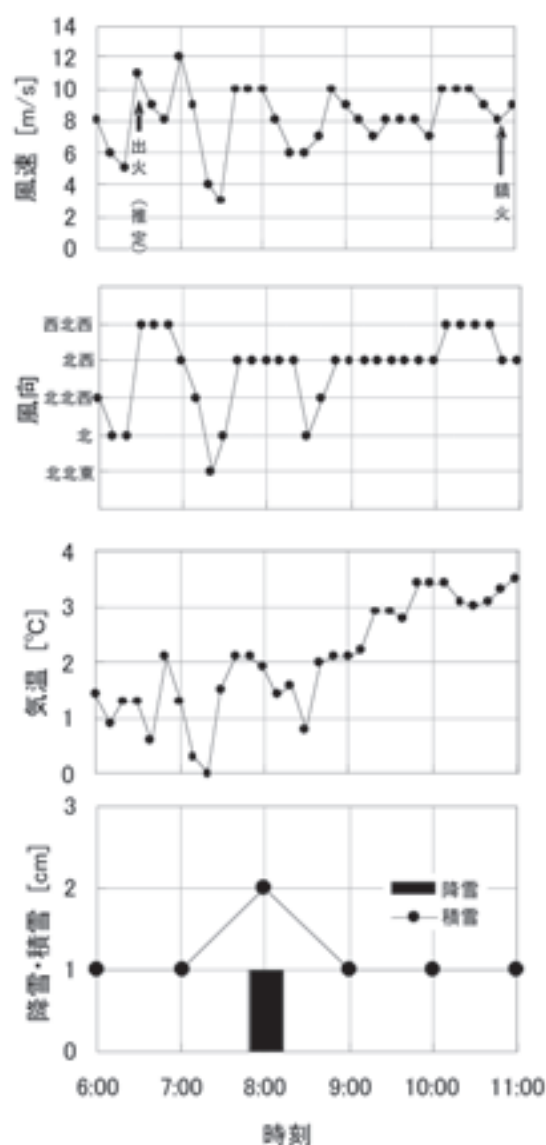



図２　2008年１月14日6:00～11:00の相川特別地域気象観測所における気象状況（風速，風向，気温は新潟地方気象台提供。降雪、積雪は気象庁ホームページより。）

５．火災の拡大状況と消防隊の活動

出火当時の建物配置と焼損範囲を図３に示す。火災現場の東側道路の歩道部分にはアーケードが設置されており、建物２階の床面とほぼ同じ高さとなっている。このアーケードも火災により損害を受けたため焼損棟・面積に算入されているが、本報告では、店舗・住宅などの用途を持つ一般的な建物（表１に示す①～⑦）について考察する。

現場調査時の写真を図４～10に示す。また、付近住民により撮影された写真を図11～18に示す。デジタルカメラで撮影された写真データ（図11～16）中の時刻は、

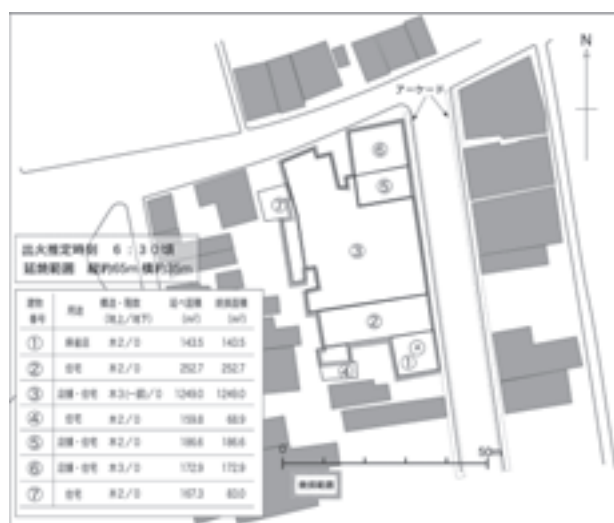



図３　火災現場の建物配置と焼損範囲

図４　現場南東部分（出火建物付近）

カメラの内蔵時計と日本標準時との差（内蔵時計が2分40秒遅れ）を補正して使用した。

図5　現場北東部分

図6　現場北東部分の俯瞰

図7　現場南西部分

図8　現場北西部分

図9　現場内部 (1)

図10　現場内部 (2)

図 11　7:21 頃の状況（佐渡市相川・磯野保氏撮影）

図 12　7:27 頃の状況（佐渡市相川・磯野保氏撮影）

図 13　7:46 頃の状況（佐渡市相川・磯野保氏撮影）

図 14　7:51 頃の状況（佐渡市相川・磯野保氏撮影）

図 15　7:52 頃の状況（佐渡市相川・磯野保氏撮影）

図 16　9:00 頃の状況（佐渡市相川・磯野保氏撮影）

図17　③の屋根が燃え抜けた状況(1)
（付近住民撮影、時刻不明）

図18 ③の屋根が燃え抜けた状況(2)
（付近住民撮影、時刻不明）

この火災に対し、公設消防は消防車17台83名、消防団は車両8台127名が出動した。放水口数は、公設消防隊が11口、消防団が7口の合計18口である（残火整理の口数は含まない）。消防活動内容を表1にまとめた。各隊は状況に応じて筒先部署を移動しているが、表1は最初に行われた活動を中心にまとめている。公設消防隊および消防団は、防火水槽・自然水利を水源として活動した。多数の部隊が放水したため、後着隊が部署できる水利は現場から遠くなり、中継体制が取られた。放水活動の長期化に伴って防火水槽への補給活動も行われた。全般的に、水量に問題はなかった模様である。

我々の現地調査、消防活動の記録、活動に従事した消

表1　消防隊および消防団の活動内容

隊番号	放水開始時刻	活動方面	主な活動内容	備考
消1・消2 （ペア活動）	０６：５２ （１、２線目） ３線目の　２口＋小口径１口 時刻不明	東側	①内部１階で放水 →②内部２階で放水 →アーケード上から③に放水	①防御中，建物奥が崩れてきたため②に筒先を移動。２階で放水したが屋根が崩壊してきたため屋外に退避し、アーケード上から③の防御にあたる。
消３	０７：１５ ２線目の時刻不明	東側 東側	１線目：アーケード上から②、③に放水 ２線目：建物⑤の２階内部から③に放水	
消４	０７：２３	南側	路上から③に放水 →④内部から②に放水	④内部で活動中、延焼が進んできたため退避
団１	０７：２５	東側	路上から①に放水 →①の屋内で放水	
団２	０７：２５	西側	路上から③に放水	
消５	０７：２９ ２線目の時刻不明	東側 南側	１線目：アーケード上から③、⑤、⑥へと順次移動して放水 ２線目：④の屋根上から③に放水	延焼の進行に伴い筒先を移動
団３	０７：３５	西側	路上から②に放水	
消６	０７：４７ ２線目の時刻不明	北側 西側	１線目：路上から③北西部分に放水 ２線目：他隊の隊員が担当し、⑦と③の間から③に放水	
団４	０７：５０	北側	路上から③北西部分に放水	
消７	０７：５０	南側	路上から②に放水 →④に屋内進入して内部に放水	
団５	０８：１０	東側	路上から⑥に放水	
団６	０８：３０	西側	路上から③に放水	
団７	０８：５０	東側	路上から⑥に放水	

筒先数合計：１８口（公設消防隊１１口、消防団７口）　　方面別筒先数：東側９口、西側４口、南側３口、北側２口

注：放水開始順に、公設消防隊は消○、消防団は団○と標記。丸囲み数字は、図３の建物番号を示す。残火整理の口数は含まない。

防職員や付近の住民への聞き取りおよび写真（図4～18）を総合し、この火災の延焼経過を推定した。その結果を図19と表2に示す。図19には、それぞれの時刻における筒先配備状況も示した。以下、推定した延焼経過について、その根拠とともに時間を追って説明する。

最先着隊（表1の消1・消2。以下、消○・団○は、表1の隊番号を示す）は、当初、出火建物（図3の①。以下、丸囲み数字は図3の建物番号を示す）の内部に進入し、1階で放水したが、建物奥（西側）が崩れてきたため①から退避し、②の2階に部署移動した。しかし、火煙により、階段の最上部付近でそれ以上の進入を阻まれた模様である。したがって、この時点では、既に①から②への延焼が開始されていた。その後、②の屋根が崩壊してきたため退避し、アーケード上から③の2階室内に放水した。

出火建物（①）は、焼損範囲の南東端に位置している。前述したように、出火当時は北西風が卓越し、出火から鎮火までの平均風速は8.4m/s、7:00には12m/sの強風であった（図2）が、出火建物の風下側（南側）には空地があり、風下建物への延焼はなかった。

この火災において延焼の主経路となったのは、各建物最上階の天井裏（以下「小屋裏」という）である。火炎は建物最上部の小屋裏を棟方向に伝播しやすい性質を持つが、①、②、③、⑤、⑥は、棟の方向が南北方向に揃っていた（図6）ため､南から北方向へ延焼が進行しやすかったものと思われる。

③は、一部3階建て、延べ床面積約1249m^{2}の大きな木造建物である。1階は主にスーパーとして使用され、北西部に付き出した部分が喫茶店として使用されていた。

表2　推定した延焼経過

06:30頃	①の1階から出火
06:50～07:00頃	①から②の小屋裏へ延焼開始
07:20頃	②から③の小屋裏へ延焼開始
07:20～07:40頃	③内を北へ急速に延焼 07:40頃、②の1階部分から④の1階北東側へ延焼
07:46頃	③の北東端まで延焼が進行（図13参照）
07:46～08:10頃	③から⑤へ、⑤から⑥へ延焼。
08:20頃	③から⑦へ延焼
09:37	鎮圧

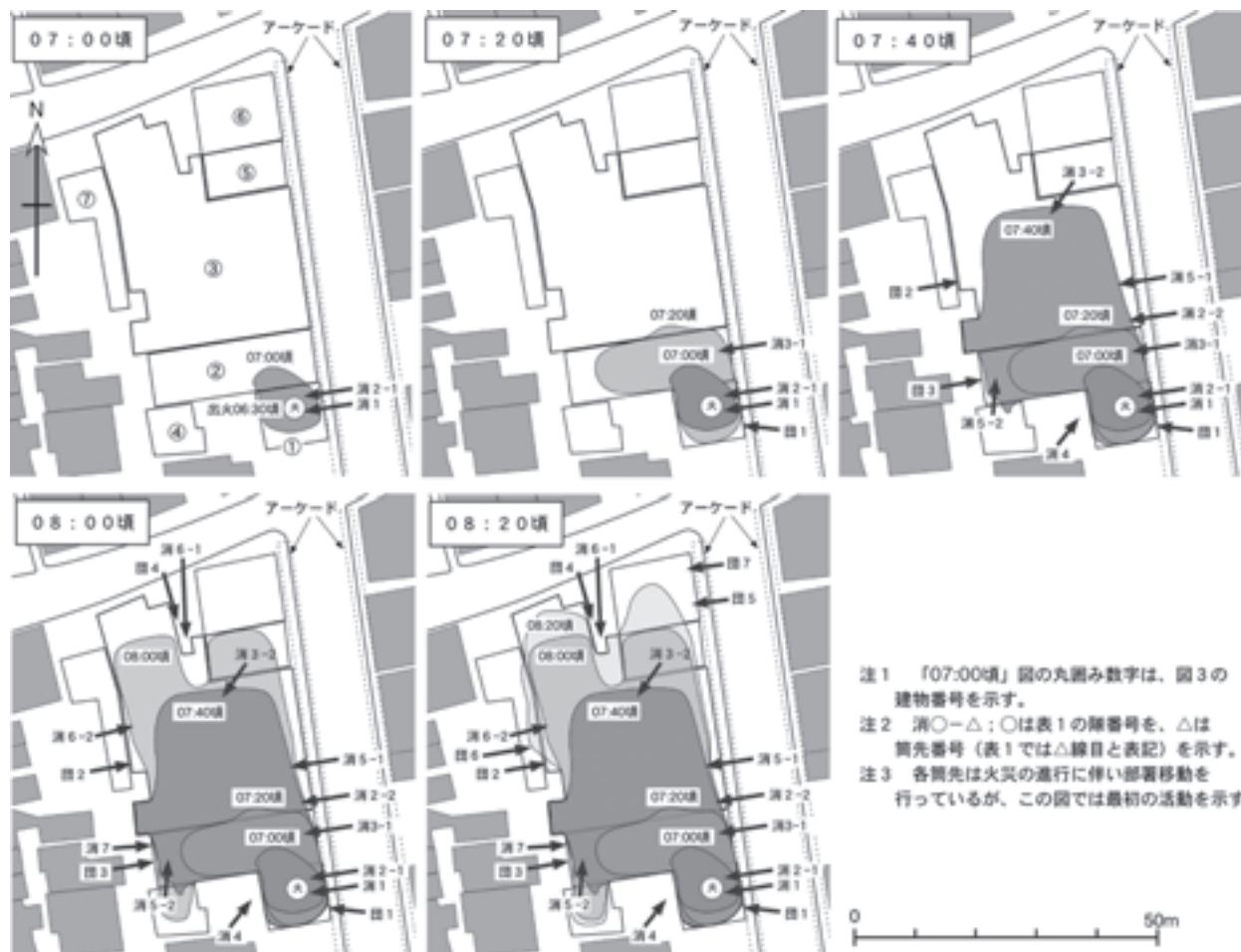



図19　推定した延焼状況と筒先配置

スーパーと喫茶店は、もともと別建物として建築された可能性があるが、火災当時は棟続きの構造になっていた。２階および３階は、倉庫や居室として使用されており、衣類などの石油化学製品が大量に保管されていた模様である。多数回の増改築を経ていると思われ、建物構造は非常に複雑であった。②から③への延焼時刻については、図12（7:27）における②および③の軒裏からの発煙状況から、その時点で既に③への延焼が小屋裏で始まっていたと思われること、さらに消4が7:23に③に対して放水を行っていることから、7:20 ～ 7:30頃に進行したものと推定される。

④は、１階北東側から延焼し、その後、２階へ拡大している。これは、延焼元の②において、④との接触部分が１階建てであったため、①の小屋裏から②の小屋裏に進んだ延焼が一旦②の１階部分に燃え下がってきた後、④へと延焼したものである（図７参照）。④の内部で活動していた隊員は、「④１階床の間の垂れ壁付近から延焼してきた」と証言しているが、この箇所は、②と④の接触部にあたる。延焼経路に②内部での燃え下がりを含むため、出火場所からの距離は短いものの、延焼するまでに時間を要したものと推定される。

③への延焼開始前後から⑤への延焼開始までの間には、消３～消５まで、消防団を含めて８口の放水が新たに行われている（さらに後の時点で放水開始された消５の２線目は含まない)。放水は主に現場の東側と西側から行われている。延焼方向を正面から抑える形で北側から放水が開始されるのは、消６の7:47である。これは、隣棟間隔のない建物配置だったため、③の建物を延焼が急速に進行している間、安全に筒先を構え、かつ有効な注水を与えられる場所がなかったためであると思われる。なお、消３の２線目が⑤の２階窓から③に放水している（表１および図19参照）が、１線のみで長大な火面進行を阻止することは不可能だった模様である。結果的には、延焼方向に対して側面からの放水体形を取らざるを得ないこととなり、このことが③の建物構造・高火災荷重と相まって、③における急速な拡大となったものと推定される。さらに､③の中央部が床面まで燃え落ちた状況（図9、10）は、建築面積が非常に大きい③の中央部に有効注水を与えることが困難であったことを示している。他の建物では、これほどの焼損状況にはなっていない。

②から③に延焼したのは、前述したように7:20 ～ 7:30頃と推定されるが、図13の時点（7:46）では既に③の北東端付近まで延焼が進んでおり、③内の延焼は非常に短時間で進行したらしい。隊員の証言も、「③に火が入ってからは一気に拡大した」ことで一致している。

③の北東端部分は、図13（図中矢印参照）では建物北側の軒裏が発煙している状態だが、図14では２階室内がフラッシュ・オーバー後の状態になっている。２階室内がその状態であれば、⑤への延焼が既に開始されていた可能性が高い。したがって、③から⑤への延焼は、図14の撮影時刻である7:51頃､あるいはそれより少し前に起ったと推定される。

⑤から⑥への延焼は、⑥に放水した団５の放水開始時刻（8:10）から考えて、それ以前に起ったと推定される。

⑦は③から延焼している（図９参照）が、③との間隔が60cm程度あったことから、③から⑤への延焼時刻よりも後の時点で延焼したものと推定される。

8:00以降は、放水体形が現場を包囲したことによって延焼拡大は緩やかになり、火災の拡大は収束に向かったものと推定される。

最終的な放水体形は、東側９口、西側３口、南側３口、北側２口の合計18口であった（表１）。延焼は主に出火建物から北方向へ、最終的には街区北側道路（幅員８～10m）まで、約65m進んだ。鎮圧時刻は、出火から約３時間経過した９時37分である。

なお、出火直後から、付近住民により水道消火栓（道路敷の地下に埋設されたもの）にホースを直結した消火活動（１線１口）が行われている。主に、火災現場の東側道路の東側歩道付近から道路を挟んで放水活動が行われた模様である(図11､12の左側から右側へ伸びる放水)。住民による放水活動は、消防隊の到着後も継続されている。直近消防署から出動した最先着隊２隊は、水槽車とポンプ車のペア活動を予定し、水槽車を火点建物前に部署し、早期の放水を行おうとしたが、道路敷下の水道消火栓が使用されていたため、車両が進入できなかった模様である。住民による早期の放水活動は火災の初期鎮圧に有効だが、道路敷下の消火栓を使用した場合などは消防車両の進入障害となることもある。

６．延焼速度

一般に、延焼速度は風下方向が最も速く、延焼範囲は風下側に大きく拡大する。しかし今回の火災現場では、出火建物の南側に空地があったことと、ほとんどの建物が隣棟間隔のない状態で接していたため、風の影響を大きく受けない小屋裏を経路にして延焼が進行したものと思われる。結果として、今回の火災の延焼は、ほぼ風上方向に進んだ。

⑥の北端部に延焼が進んだのは9:00頃である（図16)。ただし、⑥に延焼が進んだ時点（8:00頃と推定。図19参照）では消防力が徐々に優勢となっており、延焼速度が大きく低下していたものと思われる。そこで、出火から⑥の中央部に延焼が進行したと推定される8:20（図19）までを本火災の平均的な延焼速度とみることにした。出火推定点から⑥中央部までの距離が約48m、所要時間が約110分なので、全体的な延焼速度はおよそ26.2m/h（0.44m/min）である。一方、③において、②と接する部

分から⑤と接する部分までの延焼進行は非常に速かったものと推定される（図19）。この部分における延焼速度を先ほどと同様の方法で求めると、およそ72.6m/h（1.2m/min）である。大規模な木造建築物における内部延焼の速度は、小規模な建物が別棟で接して同じ面積を構成している場合と比較して、棟の境界部で延焼速度が低下しないために速くなるが、逆風下での1.2m/minという延焼速度は、標準的な棟内延焼速度である0.7～0.8m/min [2] を考えると相当に早い。これは、③の小屋裏部分が小区画化されておらず、火炎の横方向（南→北および北西）への伝播が容易だったことと、③の業態が小売店舗（スーパー）であり大量の石油化学製品（主に衣服類）が存在し、火災荷重が高かったことによるものと考えられる。③における非常に速い延焼の進行は、消防隊の活動を一層困難にしたと思われる。

７．飛火

飛火による被害はなかったが、前述したように火災時にはかなりの風が吹いていたので、飛火の可能性があると考え、飛火の有無、飛散範囲を現地調査した。

調査では、実際に火災現場周辺を歩いて燃え残りを探し、さらに、住民への聞き取り調査を行なった。調査時に数cmの積雪があったため、実際に燃え残りを見つけることができたのは2件であった。

調査結果を図20に示す。地図中のA～Mは火の粉・燃え残りが落ちていたことが聞き取り調査からわかった地点、S_1、S_2は現地調査で燃え残りを見つけた地点、X_1～X_4は、火の粉・燃え残りがなかったことが聞き取り調査からわかった地点である。各地点の内容を表3に示す。ここには、聞き取り調査時にわかった被害状況などについても、参考のために記しておいた。ただし、現地調査で見つけた燃え残りについては、調査日が火災から5日を経過した後であったため、必ずしも落下地点にそのま

図20　火の粉の飛散分布図。A～M：聞き取り調査からわかった火の粉、燃え残りの落下地点、S_1, S_2：現地調査で燃え残りを見つけた地点、X_1～X_4：聞き取り調査から火の粉、燃え残りがなかったことがわかった地点。同心円：出火場所を中心とする半径50m、100m、150mの円。

表3　火の粉の飛散状況等（記号は図20の記号に対応する）

A	紙きれの炭が飛んできた．家の被害はなかった．2階の窓に熱風が来た．
B	板状の火の粉があった．（近隣の住人の話）．
C	庭に焦げたひらひらした物が落ちていた．
D	駐車場の黒い車の上に灰があった．
E	10cm位の紙のような焦げた物がバルコニー・家の前に落ちていた．
F	火の粉が来た．煙が来た．
G	軽い黒いものが落ちていた．
H	道路一面に煙と火の粉．
J	火の粉は飛んできた，燃えさしは飛んでこなかった．
K	5～10cm位の四角い真っ黒な木端（注：こば，瓦の下に敷く薄い木の板）が飛んできた．
L	空き地に10-20cmのプラスチックの燃えさしが落ちていた．
M	紙のようなひらひらした焦げた物が来た．
S_1	焦げた木片が家の軒先に落ちていた．長さ約3cm，厚さ約5mm（図21）．
S_2	焦げた薄い板が家の軒先に落ちていた．長さ約10cm，幅約1cm（図22）．
X_1	煙は来たが，火の粉は来なかった．家の被害なし．
X_2	火の粉は来なかった，家の被害なし，
X_3	燃えさしは来なかった．煙だけ来た，
X_4	燃えさし・火の粉はこなかった．川の南には燃えさし・火の粉はこなかった．
その他	図20に記号Mを記した南北の通りには火の粉，大きい燃えさしが来たとの複数の証言があった．

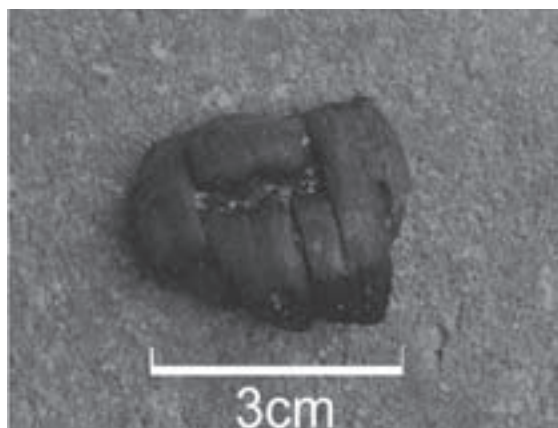



図21　S_1地点の寺の軒先に落ちていた焦げた木片

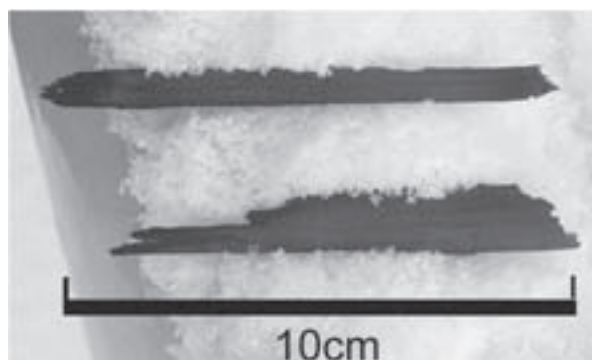



図22　S_2地点の家の軒先に落ちていた薄い板

ま残っていた物とは限らない。

図20から、火災区域の風下側150m程度まで飛火があったことがわかる。北西風の影響を受け、南東方向への飛火が多い。しかし火災区域の風上側であっても、道路を隔てて火災区域に隣接した付近には火の粉の飛散があった。

8．教訓と今後の対策

消防力は、消防庁の告示[3]に基づき、おおむね市街地人口に比例した形で整備されているため、人口に対して管轄面積が大きい地方都市における消防隊の配置密度は、大都市と比較すれば小さくなる。佐渡市消防本部は、4署2支所1出張所2分遣所、すなわち9拠点を有する。消防署等の拠点は人口・建物が集まっている地域に配置されており、また消防団も配備されているため、小規模火災であれば比較的短時間での対応が可能である。しかし、今回の火災のように延焼火災となった場合など、多数の消防隊を必要とする火災に進展した場合、拠点間の距離が大きいことから、後着隊の到着が遅れるのはやむを得ない。今回の災害では、直近消防署から出動した2隊が出火から22分後（覚知から9分後）に放水を開始した後、第2着の隊（隣接消防署から出動した消3）の放水開始は出火から45分後と、相当な間隔がある。これに対し、大都市では人口の密集度に比例して拠点密度が高くなるため、一般に、覚知から10分程度の短時間のうちに数隊の消防隊を集結させ、包囲隊形をとることが可能である。一方、今回の火災現場では多くの建物が隣棟間隔のない状態で接しており、大都市と変わることのない建て詰まりが認められる（図3参照）。今回の例であれば、出火建物から次棟への延焼（①→②）は出火後30分足らずの、最先着隊が到着したころに起っており、次の隊（消3）が活動を開始したころには既にその次の棟（③）への延焼タイミングであったと推定される（図19）。これらのことは、局所的に木造密集地を抱えるにも関わらず、部隊の早期集結が困難である地方都市では、大都市以上に、最初の隣棟延焼を防止することが消防活動はもちろん、“まちづくり”の焦点でもあることを示唆している。

また、大都市であっても、地震時に同時多発火災が発生した場合は、消防力が極端な劣勢条件下に置かれることが予想される。その際の消火活動は、平常時の消防戦術、すなわち多数の部隊で火元の建物を包囲し一気に鎮圧する戦術とは異なり、少ない消防力で延焼を制御する方法が求められる。街区内での延焼拡大は、ある意味覚悟すべきであろう。その意味で、今回の火災から学ぶべき点があると思われる。

本章では、これらの観点から、特に教訓とすべき事項をまとめる。

⑴　出火防止

後着隊の到着が遅れる地域であるだけに、市民に対して出火防止を働き掛ける取組みが重要である。具体的には、過去の火災と延焼状況を分かりやすく提示するなどの方法が考えられる。なお、この火災の1週間あまり後に2件の火災が連続して発生したため、佐渡市消防本部では、緊急的に消防職・団員で全世帯を訪問して防火チラシを配布し、火災予防の声掛けを実施した。このようなタイムリーな取組みは、市民の警火心高揚に大きな効果があるものと思われる。

⑵　防火改修等、まちぐるみの取組みの推進

佐渡市には今回の火災現場と同様の商店街がいくつかあるが、それらの街区状況は、間口が狭く奥行きが長く、かつ隣家との間隔がほとんどないという特徴がある（図23）。これは、京都において、俗に“鰻の寝床”と言われる京町家の町並みとよく似ている。佐渡は、古く奈良時代から、遠流の地として政治犯が流されてきた歴史があり、その文化・思想・建築・芸術・芸能の基盤は、都の貴族階級や文化人の影響を受けているといわれる[1]。こうした歴史背景から、佐渡の地割や建築には、都の影響を受けた可能性があるのかもしれない。京町家の特徴のひとつは、切妻屋根の妻側が道路に面しておらず、妻側同士で隣棟と接していることにあるが、今回の火災現場

図23　現場付近の航空写真
(1994年撮影、佐渡市消防本部提供)

を含め、佐渡市の他の商店街にもそのような特徴が見られた。屋根瓦が道路側から見えるため、町並みは美しい。しかしこのような街区では、棟方向が横に揃うため、横方向への延焼が非常に速く進行する。さらに、隣棟間に間隙がないため消防隊の進入が難しく、建物奥への有効な注水が少なくなる。こうしたことから、消防隊の活動は非常に困難となる。

地方都市においては、最先着隊の活動開始後、次隊の到着までに相当の時間を要すること自体を飛躍的に改善することは困難であると思われる。そこで、大規模な延焼火災の発生を防止するためには、まち全体において延焼速度を低下させる取組みが必要であると思われる。もちろん、建物の不燃化を一気に進めることは現実的ではないので、低予算で効果の上がる方法を採る必要があろう。京都市では、延焼火災が多発しその対策に苦慮した昭和30年代、京町屋における延焼速度を遅らせるため、屋根裏（小屋裏）の隣家と接する三角形の部分に防火界壁を設ける防火改修に官民あげて取組み、効果をあげた歴史がある[4)]。当時は、住民が共同で防火貯蓄を行うなどの取組みが広く行われた。時代が大きく異なるため、現代にこれをそのまま適用することは困難であろうが、自治体における補助制度の創設などの支援策を検討してもよいのではないかと思われる。

また、建築・増改築時の防火性チェックも重要である。今回の火災現場では、幾度もの増改築を経て建物構造が極度に複雑化したものが見受けられた。図23では、増改築によって屋根が複雑に入り組んでいた状況が確認できる。商店街地域では、商売上の理由などによって、増改築が頻繁に行われることが多い。無届で増改築が行われる例もある。こうした増改築は、一般に、火災発生時の避難路確保を困難にし、延焼速度を増加させ、建物の複雑性が増すことから消防活動を困難にする。自治体の建築担当部局と消防とが協力し、建築・増改築時のきめ細かなチェックを行うことが必要であろう。

このような取組みが行われることにより、取組み過程そのものが住民の防火意識の向上に寄与することも期待されよう。

⑶　指揮活動

後着隊の到着が遅れる地方都市の消防本部では、最初の状況判断とそれに基づく活動がとりわけ重要になる。指揮隊が同着しない状況では、最先着隊長がそれを行う必要がある。火勢・延焼可能性と現有勢力とを比較し、主火制圧（その時点において燃焼が最も激しい建物を防御すること）に重点を置くか延焼阻止に重点を置くかを判断し、その時点で最も効果的な活動を行わねばならない。後着隊の到着予想時間も勘案し、延焼阻止の目標線を設定することが必要であろう。こうした状況判断に基づく後着隊への活動指示は、重要な指揮活動のひとつである。

指揮隊は一般に最先着隊よりも後に現場に到着するが、火災の進行に応じて、現有勢力（放水している部隊）の活動内容を適切に誘導する必要がある。後着隊への活動指示も、到着までに時間を要する悪条件を逆に利用して、細かく与えることも必要であろう。

⑷　消火戦術

・小屋裏への注水

隣棟間隔なしで建物同士が接する場合の延焼阻止は、棟間に注水することができないため、大変困難である。したがって、被延焼建物の最上階天井を小破壊し、小屋裏に注水する方法がとられるが、実施にあたっては、煙層の降下状況や煙色等から延焼のタイミングを予測して適時・的確に行う必要がある。特に、未延焼タイミングでの破壊活動は、延焼の逼迫性を検討し、慎重に行う必要がある。

・建物背面への進入

建物の間隙から背面に進入することができない場合は、建物正面（道路側）からの注水に偏り、建物奥の消火が遅れる可能性が高い。一般に、こうした建物配置の場合、建物奥側には小さな空地等（中庭、物干場など）があることが多いので、可能であれば、未燃焼

建物の屋内を通り抜けて背面に回り、有効な放水場所を確保する必要がある。ただし、退路の安全性に配慮しなければならない。

・俯瞰注水

広大な面積が同時に燃焼している場合、路上からの注水では建物の奥まった部分への有効注水が少なくなる。有効な位置を確保できるならば、はしご車等による俯瞰注水が効果的である。

９．謝辞

現地調査は、佐渡市消防本部および現場を所轄する相川消防署の全面的な協力によって円滑に進めることができた。調査２日目に相川消防署で行われた現場活動検討会では、活動に参加された多くの消防職員から詳細かつ具体的な情報を提供していただいた。佐渡市消防本部および相川消防署の関係各位に深く感謝申し上げるとともに、様々な限界要因を踏まえつつ、より良い活動を目指そうとする､職員の皆さんの熱い心に打たれるものがあったことを申し添えます。

また、佐渡市相川の磯野保氏並びに匿名の住民の方からは貴重な写真を快く提供していただいた。現場における指揮全般および密集街区での消防活動戦術については、京都市消防局本部指揮救助隊長の濱田康寛氏からご指導を受けた。以上の方々に深く感謝いたします。

参考文献

１）佐渡観光協会：歴史の断面, http://www.sadokankou.gr.jp/01outline/03history/index.shtml

２）東京消防庁：地震時の延焼シミュレーションに関する調査研究 (1999)

３）総務省消防庁：消防力の整備指針, 平成 17 年消防庁告示第９号 (2005)

４）京都市消防局・財団法人京都市防火協会：京都消防 55 年の歩み、pp.30-31、財団法人京都市防火協会 (2003)

Report of the Investigation of a Wooden Buildings Fire in Aikawa, Sado-city in January, 2008

(Abstract)

Kanji Sugii and Masahiko Shinohara

(Accepted July 11, 2008)

We investigated a wooden buildings fire, which occurred in a dense area in Sado-city, Niigata prefecture in January 14, 2008. Totally 2118.82m^2 areas were burnt. The fire spread upwind in spite of a mean wind speed of 8.4 m/s. Part of a building burned at the speed of 1.2m/s. There was no damage caused by spot fire, whereas firebrands had been scattered downwind to 150m away from the fire occurrence point. The investigated results showed some difficulties of fire-fighting activity in local cities and an importance of taking measures to prevent fire spreading in consideration of the difficulties.

技術報告

米国における緊急事態対応について

廣川　幹浩

(平成20年7月11日受理)

米国の大災害などに対する緊急事態対応については、2004年に制定された緊急事態対応計画(National Response Plan: NRP)において市、州および連邦政府における責務および相互間の連携などが規定されている。本報においては、我が国の緊急事態対応の参考とすることを目的として、米国の緊急事態対応の体制について報告を行なうとともに、2004年にハリケーン・カトリーナが襲来した時のNRPの発動事例を取り挙げ、実施上の問題点などについて述べた。

１．はじめに

近年、国内および近隣諸国において、大地震などの自然災害で甚大な被害が生じている。国内においては、平成15年9月26日に発生した十勝沖地震で、苫小牧市の製油所のナフサタンクが全面火災に至り社会を震撼させた。平成19年7月16日に発生した新潟県中越沖地震においては、柏崎市の原子力発電所から出火し、国内ばかりでなく海外にも大きな衝撃を与えた[1)]。また、最近の近隣各国では、平成20年5月2日のミャンマーにおけるサイクロンによる高波及び強風被害、平成20年5月12日の中国四川省大地震など、数万人規模の死傷者がでる大災害が発生している。我が国においても近い将来で関東、南海、東南海地震などの発生が懸念されており、緊急事態への対応の確立が早急に望まれている。

そこで、本報においては、我が国の緊急事態対応に資するべく、米国の緊急事態対応の体制について報告を行なうとともに、2004年にハリケーン・カトリーナが襲来した時のNRPの発動事例を取り挙げ、実施上の問題点などについて述べた。

２．米国における災害対応

市、州および連邦政府の災害対策および復興支援については2004年にまとめられた緊急事態対応計画(National Response Plan: NRP)[2)]で規定されている。NRPは、それまで連邦政府の災害対応を規定してきたFederal Response Planを基にして、米国同時テロの際の対応の教訓を加え内容の拡充を図ったものである[3, 4)]。市、州および政府間の支援要請の流れは図１のように示される[5)]。

図１より、第一次の管理責任がある自治体の初期対応から始まり、被災程度に応じて自治体が州および連邦政府に支援要請を行なう体制となっている。例えば、ある地区に自然災害あるいはテロが生じた場合を想定するとNRPに基づく各機関の支援要請の流れは次の通りである。災害に対する初期対応は、自治体内の災害対応組織である消防および警察が行う。その後、消防および警察は、自治体内の対策指揮本部として設置されている緊急管理センター(Emergency Operation Center: EOC)に災害状況、被害程度などを報告する。

EOCで災害対応について検討を行い、自治体レベルの対応が困難と判断された場合は、州に支援を要請する。州においても州全域を管轄するEOCが設置され

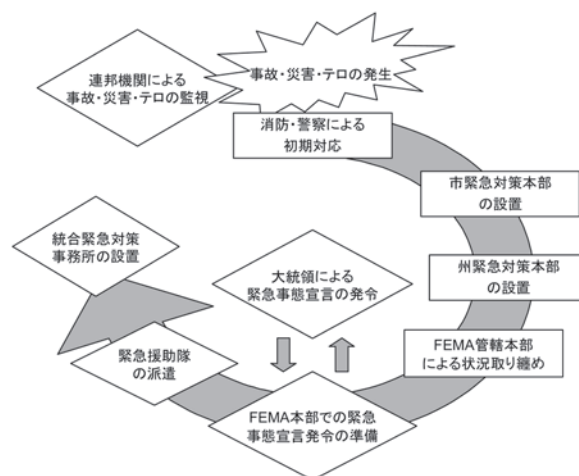



図１　NRPにおける援助要請の流れ

ており、市からの支援要請を州のEOCで受け、市に対して救援活動を行なう。州単独で対応が困難な場合は、1996年に承認された州間の援助体制について制定された緊急時管理援助協定を発動させ、他州の資源を頼ることができる。更に、州レベルでの対応が困難と判断されれば、州のEOCは国土安全保障省(Department of Homeland Security: DHS)の内局である連邦緊急事態管理庁(Federal Emergency Management Agency: FEMA)を通じて政府の支援を要請する。大統領に伝達された後は、大統領の非常事態宣言が発令され、FEMAが被災地域への援助隊の配備や支援物資などの配給の指揮を行う。

上述のように、連邦制である米国においては、災害対策も含め地方制度の形成および確立に関する権限は地方自治体に一任されてため、NRPの支援要請の流れも、地方からの要請に基づき連邦政府が行動する「プルシステム」が活動の基本となっている(注1)。

3．各組織について

3.1　自治体の緊急管理センター

自治体には災害対策本部として緊急管理センターが設置されている。

例えば、ニューヨーク市緊急管理センター(NYC OEM)[6]を見てみると、1996年に設立、対外的な組織の目的は、緊急事態の準備および教育、緊急対応の場合の手配および復興支援活動、緊急情報に関する情報収集などである。NYC OEMの本部は、市の中心に位置し、緊急対策センターを有している。

本部のメンバーは消防、警察、市職員からなっており、消防や警察の職員は緊急時にのみ召集される。最近では、2001年の9.11テロ攻撃、2003年の大停電、2004年の大統領選挙の際、2005年の交通ストライキ、2006年のノースイースター(北東地区に吹く強風)の際に指揮本部として機能した経験がある。

3.2　ニューヨーク州緊急管理センター

市からの支援要請に応えるべく、各州においても州の緊急管理センターが設定されている。

例えば、ニューヨーク州緊急管理センター（SEMO）[7]は、1950年に設立され、その役目は、ニューヨーク州市民の生命および財産を天災およびテロから守ることである。SEMOは、FEMAの管轄地域の本部であり、緊急時には他の州あるいは連邦政府への支援要請を協議しながら、被災現地の支援・援助を行う。また、SEMOは日常業務で地方自治体、ボランティア団体、民間団体の支援を行い、さまざまな緊急対策に関する教育、訓練を提供している。ニューヨーク州は、1954年以降に53件の連邦政府による非常事態宣言が出され、そのうち35件については1995年以降に出されている。2001年の9.11テロ攻撃もその１つである。

3.3　連邦危機管理庁

連邦政府の救助支援機関として、連邦緊急事態管理庁(FEMA)がある[8]。FEMAは、1979年のカーター大統領時代に、災害対策組織として連邦政府内に独立機関として設置され、強力な指揮命令権を有し、世界中の緊急事態対策の手本とされてきた。

2003年3月1日付 でDHSの1部門となり権限・規模が縮小されて再出発した。組織再編の経緯として、2001年の9.11テロ事件当時､沿岸警備隊､アメリカ航空管制局､シークレット・サービス、国境警備隊などの機関同士の

表1　FEMAの管轄区域

事務所名	管轄区域
Region I	Connecticut、Maine、Massachusetts、New Hampshire、Rhode Island、Vermont
Region II	New Jersey、New York、Puerto Rico、and the Virgin Islands
Region III	Delaware、District of Columbia、Maryland、Pennsylvania、Virginia and W. Virginia
Region IV	Alabama、Florida、Georgia、Kentucky、Mississippi、N. Carolina、S. Carolina and Tennessee
Region V	Illinois、Indiana、Michigan、Minnesota、Ohio and Wisconsin
Region VI	Arkansas、Louisiana、New Mexico、Oklahoma and Texas
Region VII	Iowa、Kansas、Missouri and Nebraska
Region VIII	Colorado、Montana、N. Dakota、S. Dakota、Utah and Wyoming
Region IX	Arizona、California、Hawaii、Nevada、American Samoa、Guam、Commonwealth of the Northern Mariana Islands、Republic of the Marshall Islands、and Federated States of Micronesia
Region X	Alaska、Idaho、Oregon and Washington

図2　FEMAの管轄区域図

(注1) 連邦政府が主導になり、地方自治体に提案を行う体制は「プッシュシステム」と呼ばれている。

連携が取れなかったために、ブッシュ大統領がこれらの機関を統合し新たにDHSを作ることを提案し、DHS内に統合した。

FEMAの長官は、大統領によって任命される。長官の下には、2人の副庁官、9人の補佐官および10人の各管轄の局長からなる。10区の管轄地域の詳細を表1および図2に示す。表1中の下線、および、図2中の丸印は、管轄地域の本部事務所の所在地を示す。FEMAは、10区の管轄地域に分割され、各区域の中心部に本部事務所が設けられている。各事務所は区域の概ね中心に位置しており、被災地までのアクセスを考えた設置と言える[9]。

FEMAの火災対応に関する役割(注2)は、火災情報に関しても情報収集をおこなっており、連邦消防局火災事故報告システムを庁内に設置し、各消防局から火災ならびに事故が規定の報告様式に報告されたデータを収集している[10]。本データは、訓練、技術支援、火災関連の技術ソフトの開発を行っている開発元に情報提供が行われる。また、ホームページから、規定集、テンプレート用紙および各種情報について入手可能である。

3.4　国土安全保障省

国土安全保障省(DHS)は、2001年の9.11テロ事件の翌年に設立された[11]。DHSの設立目的は、テロ攻撃から国土を守ること、脆弱性をいち早く発見して対策を講じること、被害が生じた場合は被害を最小限に抑えて復興支援を行うとことである。DHSの組織は、テロリストの進入を水際で食い止めるために、運輸保安局庁(空港の管理など)、国境警備庁、湾岸警備隊、連邦緊急事態管理庁、市民権・入国審査庁および大統領などの要人で有名なシークレット・サービスに分かれ活動を行っている。

4．法令化の体制と民間団体のガイドライン

連邦制である米国においては、地方制度の形成および確立に関する権限は地方自治体に一任されているため、連邦政府が制定した連邦法として、地方自治制度の規定について触れるものはない。ただし、連邦法の条文には、国の州に対する優位性が示されており、連邦政府と州政府および地方自治の間の責任の境界線をどこに引きくべきか苦悩があるようである。

建築基準法、電気関連法令あるいは消防法などの法案においては、各自治体に立法権限が委ねられ、州ごとに基準が多少異なる法令が存在する。法令自体は、ゼロの状態から作成するのではなく、基準となる法令として、非営利団体や民間会社が作成した基準がある。各地方自治体は、これらの基準の一部分を採用し、改良を重ねながら各州における法律を定めることになる。非営利団体や民間会社が作成した基準は州法や地方自治法などに採用された時点で、法的拘束力を持つことになる。

一方、連邦法の規制が及ぶ例として、環境規制が挙げられる。米国環境保全庁が環境保全についての規制しており、石油貯蔵タンクを有する事業社などに対して、油の漏洩の防止および対策について連邦法を強制的に遵守させている。環境分野の規制については、連邦法、州法および地方自治法が複雑に絡み合い、連邦法の優位性により一次元的に管理している姿勢が伺える。

産業ガイドラインを作成している団体は、いくつかあるが、石油タンクの構造や防火に関するものは次の団体がある。米国石油協会(API)は、米国の石油および天然ガス産業に関する情報提供、認証ならびに基準作成などを行っている団体である[12]。全世界で400以上の法人会員がおり、その法人の事業は、石油製品、石油精製、石油供給、パイプライン、海運などが中心である。APIが作成する基準は、石油機器の構造的な部分、石油製品の取扱い、事業の管理、検査に関して作成されている。APIの多くの基準は、連邦政府の基準、州法などに取り入られているばかりでなく、国際標準化機構(ISO)や世界各国の基準に採用されており、その採用数は年々増加している。米国防火協会(NFPA)は、1896年に設立された国際的な非営利団体であり、火災から生命および財産を守るために、防火、電気および建築に関する法令･基準、研究、訓練や技術教育などを提供している組織である[13]。NFPAの会員は世界で81,000以上であり、80以上の専門組織と提携協力を行っている。NFPAで検討した300程度の防火基準は、世界各国の建築基準法や消防法などの法令に取り入れられている。アメリカ規格協会(ANSI)の承認を得るために、NFPAの基準を各基準に取り入れて法令改正を行う場合もある。

(注2) FEMAの一部局として連邦消防局(The U.S. Fire Administration: USFA)があるが，USFAは、火災および天災から人々の生命や財産を守るために，災害対策の指揮・指導，連絡調整あるいは復旧支援を行うことを目的として活動を行っている[6]。例えば，一般市民に対する火災予防啓発のプログラムの開発，消防職員の教育訓練プログラムの開発，消防装備の開発および普及の推進，火災予防マスタープランの開発および普及の推進，火災データの収集・分析，地方自治体が制定する消防法令の評価と改善助言，全米消防アカデミー（National Fire Academy: NFA）における幹部職業消防隊員，幹部義勇消防隊員に対する消防の管理運営のための教育訓練などである。この様に，USFAの役割は、現場対応というより防火対策についての市民教育の基準や消防隊員の訓練基準の作成、研究開発や商品開発のための火災データの提供が中心である。

５．カトリーナ襲来時の連邦緊急事態対応計画（NRP）の発動

2004年以降、NRPが初めて発動されたのは、2005年8月末に米国メキシコ湾岸地域に甚大な被害をもたらしたハリケーン・カトリーナが襲来した時である[14)]。

カトリーナが、壊滅的な被害が生じたルイジアナ州へ上陸するまでの主な出来事と行政対応を表２に示し、カトリーナの規模と軌跡を図３に示す[15)]。カトリーナは2005年8月23日にバハマ諸島サンサルバドル島付近(フロリダ半島の南部の東海上)で発生した。8月25日にフロリダ半島を横切った後、メキシコ湾で勢力を強め、8月28日にカテゴリー５[(注3)]まで到達した。メキシコ湾岸地域を襲ったカトリーナは広域にわたって強風、降雨、高潮による堤防の決壊により、死者1,464人、被害総額800億ドルという甚大な被害をもたらした[16)]。市街地の8割が水没したニューオーリンズ市を中心に100万人規模の被災者が発生した。8月28日に市長より強制避難命令が発動された時には、約2万5千人の市民はルイジアナ・スーパードーム（フットボール競技場）に避難した。しかし、堤防が決壊したことにより市内が危険区域になったこと、支援物資の不足や衛生面の悪化などによる高齢者の衰弱死が相次ぎ、8月31日から避難者は約560km離れたテキサス州ヒューストンにあるアストロドーム（野球場）に移動することになった[14)]。

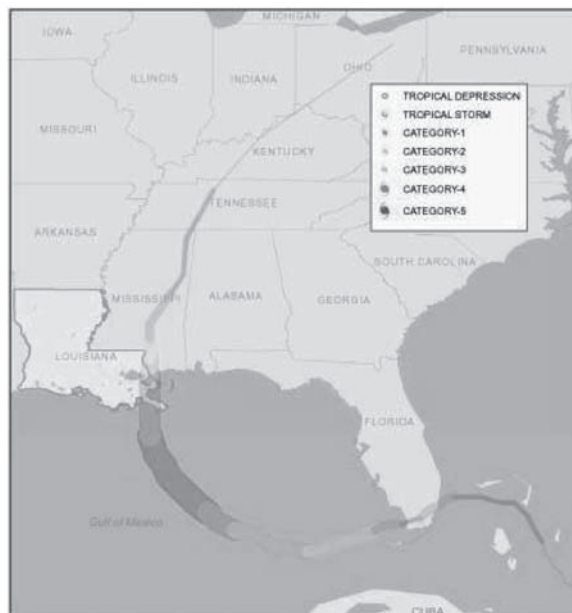



図３　カトリーナの軌跡とカテゴリー

本災害は2004年以降NRPが初めて発動されたケースであり、災害対応に対する各機関の認識の違いのために連携体制が円滑に機能していない様子が表２のNRP発動のタイミングから伺える。8月27日11時41分大統領よりルイジアナ州に対する非常事態宣言が発令されているにも係わらず、それから３日遅れてDHS長官からNRPが発動されたのである。8月26日の時点において、ナショナルハリケーンセンターがカトリーナの進路予測をしており、13時のルイジアナ州知事より非常事態宣言が発令されているタイミングに合わせて連邦政府の非常事態宣言およびNRP発動がなされていれば、堤防決壊による人的被害を少しでも改善できたのではなかろうか。

発動後のマスコミなどから寄せられた連邦、州および市の各レベルにおける問題点を表3に示す[17、18)]。表3における行政上の問題点の要因として、FEMAがDHSへ統合され

表２　カトリーナ襲来の履歴

日付	カトリーナの規模	被害・避難状況	行政対応
8月23日	・15時頃、バハマ諸島サンサルバドル島付近で熱帯低気圧12号が発生		
8月24日	・9時頃、バハマ諸島ナッソー付近で熱帯低気圧は熱帯性暴風に変わり、カトリーナと命名		・18時、フロリダ州知事より非常事態宣言
8月25日 フロリダ上陸	・16時半ころ、フロリダ州マイアミ、フォートローダーデールに上陸	・16時頃、倒木、停電などで200万人に影響、300mmを超える雨量を記録し、120万世帯で停電、9名死亡。	
8月26日	・3時頃、カテゴリー2に成長 ・17時、フロリダ半島を抜けメキシコ湾へ		・13時、ルイジアナ州知事より非常事態宣言
8月27日	・3時頃、カテゴリー3に成長し、メキシコ湾を北上		・6時、FEMAによる救援活動の開始 ・11時41分大統領よりルイジアナ州に対する非常事態宣言 ・13時、ニューオーリンズ市長より非常事態宣言および避難勧告
8月28日	・0時頃、カテゴリー4に成長、6時カテゴリー5に成長し、メキシコ湾を北上	・25,000人がスーパードームへ避難	・9時半、ニューオーリンズ市長より強制避難命令 ・12時、FEMAによる支援物資の搬送開始
8月29日 ルイジアナ上陸	・5時頃、カテゴリー4に衰退し、ルイジアナ州ブラス付近に上陸	・9時頃、ニューオーリンズの2つの堤防が決壊 ・空港閉鎖、石油精製所の被害	・13.時45分、大統領がルイジアナ、ミシシッピ、アラバマの各州を大規模災害地域に指定
8月30日	・内陸部を北上し、威力を徐々に減衰	・夕方時点で確認された死者は100人強 ・支援物資の不足や衛生面の悪化 ・市内における略奪行為も激化	・16時、NPR発動

(注3) カテゴリー区分は、最大風速で決定され、カテゴリー５が風速69m/s(155mph)以上、カテゴリー４が58m/s(131～155mph)、カテゴリー３が49m/s(111～130mph)以上となっている。

表３　NPR発動時の各組織における問題点

連邦レベル	・FEMAにおける災害状況の把握、他省他局、州政府および自治体との連携体制 ・NRPはプル方式であるという認識の甘さによる連邦政府の被災対応に対する消極姿勢 ・大統領への適切な助言不足
州レベル	・避難命令の発令の遅さ ・FEMAおよび他州との連携体制
市レベル	・市民の移動手段などに配慮しない避難指示 ・非常事態に備えた食料、飲料水の準備不足 ・警察官などの職場放棄に対する士気の低下 ・市民への逐次の状況説明の不足
共通問題	・堤防の構造および強度不足 ・ハリケーン対策に対する予算不足

新政府組織での権限の明確化が不足していたこと、並びに、市－州－連邦政府間の情報伝達がうまく機能していなかったことが挙げられる。また、権限を州政府に委ねた連邦国家の体制ではあるが国家レベルの緊急事態についてはどの様に対処すべきかなどの議論の余地が残る。

６．まとめ

本報においては、米国の緊急事態対応計画（NRP）を紹介するとともに、2004年にハリケーン・カトリーナが襲来した時の事例を取り挙げ、NRPの実施上の問題点などについて述べた。

1）米国における災害対策の第１次的責任は、市あるいは郡(カウンティ)などの地方自治体が負うことになっている。しかし、ハリケーン、山火事、大規模火災、テロなど被害の程度が非常に大きい場合、自治体単独で対応出来ないと判断された場合は、市が州の支援を要請し、さらに援助が必要な状況であれば、連邦政府の救助支援を要請することになる。

2）組織体制は、大統領の下に国土安全保障省があり、国土安全保障省の内局として連邦緊急事態管理庁がある。また、州においては、州緊急管理センターがある。また主要な市については、市緊急管理センターが設けられており、万一の事態に備えている。

3）連邦制である米国においては、地方制度の形成および確立に関する権限は地方自治体に一任されているため、連邦政府が制定した連邦法として、地方自治制度の規定について触れるものはない。連邦法の条文には、国の州に対する優位性が示されているものの、基本的には技術的な規制も各州に立法権限が委ねられており、州ごとに基準のレベルが異なる項目が存在することがある。

4）2005年８月末に米国メキシコ湾岸地域に甚大な被害をもたらしたハリケーン・カトリーナ襲来時の市、州および連邦政府での対応を示し、NRPの各組織レベルでの問題点をまとめた。FEMAがDHSへ統合され新政府組織での権限の明確化ならびに市－州－連邦政府間の情報伝達が円滑に機能していなかったことが挙げられる。

権限を地方政府に委ねた連邦国家における緊急事態については、我が国の緊急対応計画を研究する上でも、今後、議論を追跡していく予定である。

参考文献

1）山田實　他、柏崎刈羽原子力発電所内における屋外タンク貯蔵所等の地震被害調査、消防研究所所報第104号３月号、pp.9 － 16

2）NRP resource center, http://www.fema.gov/emergency/nrf/

3）田川顕、米国における災害対策、財)自治体国際化協会 Clair report No. 264 (2005)

4）林春男　他、ハリケーン「カトリーナ」による広域災害に対する社会対応、京都大学防災研究年報、第49号４月号Ａ編、pp.9 － 21　(2006)

5）Overview: ESF and Support Annexes, Coordinating Federal assistance in support of the national response framework, DHS, pp.5 (2008)

6）New York City Office of Emergency Management、http://www.nyc.gov/html/oem/html/home/home.shtml

7）NY State Emergency Management Organization、http://www.semo.state.ny.us/index.cfm

8）Federal Emergency Management Agency、http://www.fema.gov

9）アメリカの消防事情、海外消防情報センター (2001)

10）The U.S. Fire Administration、http://www.usfa.dhs.gov/

11）The Department of Homeland Security、http://www.dhs.gov/

12）American Petroleum Institute、http://api-ec.api.org/

13）National fire protection association、http://www.nfpa.org/index.asp

14）坪川博彰、行政のハリケーン災害対応、防災科学技術研究所主要災害調査、第41号３月、pp.71 － 73 (2006)

15）Louisiana geographic information center, http://lagic.lsu.edu/

16）Louisiana department of health and hospitals, http://www.dhh.louisiana.gov/

17）ハリケーン・カトリーナ関連資料、自治体国際化協会ニューヨーク事務所、http://www.jlgc.org/

18）土屋恵司、アメリカ合衆国の連邦緊急事態管理庁FEMAの機構再編、国立国会図書館調査および立法考査局、外国の立法232 － 6　(2006)

Investigation of a National Response Plan in the United States

(Abstract)

Yoshihiro Hirokawa

(Accepted July 11, 2008)

U.S. disaster response was regulated by the National Response Plan (NRP) of 2004. These regulations describe the rules of city, state and federal government interactions. In addition, the plan details a collaboration strategy among these entities. This report introduces the NRP, and presents problems concerning the 2004 Hurricane Katrina in the southern United States.

解　説

ガソリンのポリタンク容器貯蔵の火災危険性
ーガソリン蒸気の漏えいとタンクの転倒ー

田村　裕之

(平成20年7月29日受理)

1．はじめに

平成19年から20年にかけてガソリン価格[1]が1リットルあたり120円台から150円台へ上昇していた中、租税特別措置法が一時失効し平成20年4月に揮発油税額が下がり、一時的にガソリン小売価格が1リットルあたり20円ほど下がった。租税特別措置法は平成20年5月には復活する見通しであったため、価格の安い4月中に、一般家庭でガソリンを携行缶などで貯蔵しようとする動きがみられた。この貯蔵の際にガソリンをガソリン用携行缶ではなく灯油用ポリエチレンかんに入れることが考えられた。ガソリンを灯油用ポリエチレンかんに入れて貯蔵した際、ガソリン蒸気の漏えいや車両への給油時に火災になる危険性が懸念された。そこで、消防研究センターでは、平成20年の一般公開時に、ガソリンを灯油用20 ℓポリエチレンかん（以下、「灯油用ポリタンク」という。）に貯蔵することによる火災の危険性について実験で示した。この時の実験内容について紹介する。

2．ガソリンと灯油の違い

ガソリンも灯油も炭化水素の混合物である。揮発しやすい炭素数の小さい炭化水素成分が多いのがガソリンで、炭素数の大きい炭化水素成分が多いのが灯油である。

ガソリンと灯油の違いを物性値[2]、[3]で以下に示す。

ガソリンは、比重0.6～0.8、引火点－40℃以下、発火点約300℃、蒸気圧50～93 kPa(37.8 ℃)、爆発濃度範囲1.1～7.6 vol.%、蒸気比重3～4で、色は無色であるが自動車用ではオレンジ色に着色されている。

灯油は、比重0.8～0.85、引火点40℃以上、発火点約229℃、蒸気圧0.35 kPa（37.8 ℃）以下、爆発濃度範囲0.7～6.0 vol.%、蒸気比重4.5で、色は無色または淡黄色である。

どちらも蒸気比重は空気よりも重いため、揮発した場合には低い部分に溜まりやすい。ガソリンも灯油も消防法の危険物として扱われていて、物性の違いからガソリンは第4類第一石油類、灯油は第4類第二石油類に分類される。

3．灯油用ポリタンクとガソリン用携行缶との違い

灯油もガソリンも消防法で危険物に指定されており、運搬や貯蔵に規制がかけられている。運搬容器については、消防法で容器の材質、強度、気密性などの基準が設けられている（消防法第16条、危険物の規制に関する政令第28条、危険物の規制に関する規則第41条、危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示第68条の五など。）。そして、灯油用ポリタンクとガソリン用携行缶（金属製容器）は法に定められた性能試験に合格することで性能の確認済証を貼付することができる。

灯油用ポリタンクとガソリン用携行缶の性能試験の基準の違いを簡単に示す。気密試験での内圧が、灯油用は0.02 MPa、ガソリン用は0.2 MPaであり、内圧に10倍の違いがある。また、落下試験では、落下高さが、灯油用は0.8 m、ガソリン用は1.2 mであり、1.5倍の違いがある。

4．実験の目的

ガソリンと灯油では、「2．ガソリンと灯油の違い」で示したように物性値が大きく違うので、家庭内で貯蔵した場合の危険性が異なる。特に引火点（ガソリン－40℃以下、灯油40℃以上）が大きく異なる。この温度は、常温での引火の危険性の大小を表す目安になる。ガソリンは常温での蒸気圧が高いため揮発しやすい性質をもつが、灯油は常温では水（水の蒸気圧6.55 kPa(37.8 ℃)[4]）よりも揮発しにくく引火の危険性も低い。

今回の実験では、家庭内で灯油用ポリタンクにガソリンを貯蔵した場合を想定し、次の2つの実験を考え、それぞれの危険性について再現した。

【実験1】

蓋のゆるみなどからガソリン蒸気が漏えいし、その可燃性混合気に引火してしまう場合。

【実験2】

灯油用ポリタンクからガソリンを車両等に給油する際

に、何らかの原因で火が着いてしまい、灯油用ポリタンクを倒してしまう場合。

5．実験内容

5.1　実験１：漏えいしたガソリン蒸気への引火

ガソリンを灯油用ポリタンクに貯蔵しているとき、蓋を開けていたり、蓋が緩んでいたりしたために灯油用ポリタンクの口からガソリン蒸気が漏えいし、灯油用ポリタンクの周辺に可燃性の混合気を形成していた状況を再現した。そこに裸火を近づけてしまった時の燃え上がり方と傍に人がいたときの着衣への着火について確認した。

実験1のセットアップは図１の通り。実験では安全のため灯油用ポリタンクには水が入れてある。灯油用ポリタンクを入れているオイルパンの中にスカートとシャツを着せた人形を入れた。

ガソリンは空気よりも重いため、発生したガソリン蒸気はオイルパンの中に溜まる。灯油用ポリタンクにガソリンを入れ、口から蒸気が漏れ出しているとすると、灯油用ポリタンク周囲の低いところに溜まることになる。この状況を再現するために灯油用ポリタンクの下にオイルパンを置き、このオイルパンの中にガソリン蒸気が溜まるようにした。

オイルパンの内側にガソリンを刷毛で薄く塗り揮発させて、オイルパン内にガソリン蒸気を溜めた。ガソリン蒸気の濃度が爆発濃度範囲に入っているかはガス濃度計により確認し、裸火をオイルパンに差し入れ着火させた。

5.2　実験２：タンク転倒による燃え広がり

灯油用ポリタンクに貯蔵していたガソリンを、人が灯油用ポリタンクを抱えて車両に補給しようとしたとき、静電気火花などの何らかの原因により給油口付近で着火してしまい、それに驚いた人が灯油用ポリタンクを落として転倒させた状況を再現した。

実験２のセットアップは図６の通り。灯油用ポリタンクに約半分のガソリンを入れ、注ぎ口のホースの際までガソリンが来るように傾けた。灯油用ポリタンクはワイヤーを取り付けた枠の上に置き、このワイヤーを引き上げることで灯油用ポリタンクを傾けたり、転倒させたりできるようにした。注

図１　実験１の着火直前の状況

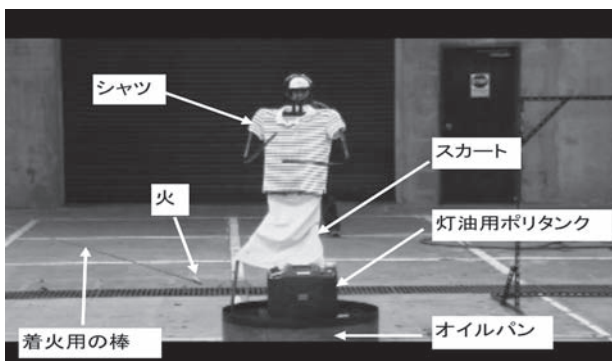



図２　実験１の着火直後の状況

図３　実験１の着火後 15 秒の状況

図４　実験１の着火後 30 秒の状況

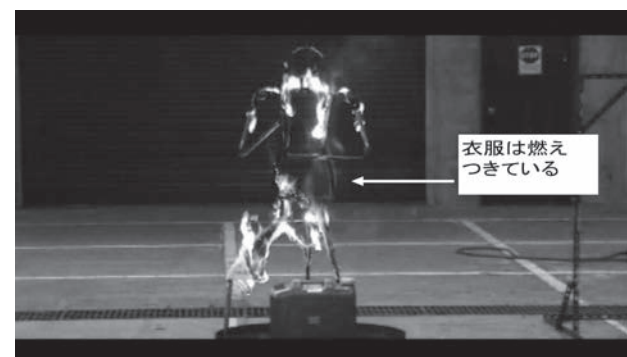



図５　実験１の着火後１分の状況

ぎ口の先に裸火で着火し、その後すぐにワイヤーを引き上げ灯油用ポリタンクを転倒させた。

今回の着火に際しては直接火を近づけたが、ガソリンの可燃性混合気への着火には、0.3 mJ以下のエネルギーの火花で十分である[5)]。これは、静電気放電でも十分なエネルギーであり、着火する可能性は高いので、実験2のような事象は起こりうることである。

6．実験結果

ここで紹介する写真は、ビデオ撮影した映像から切り出したもので、不鮮明な部分があることをお断りしておく。

6.1　実験1：漏えいしたガソリン蒸気への引火

図2は着火直前、図3は着火直後　図4は着火10秒後、図5は着火1分後である。

ガソリン蒸気がオイルパンの中に溜まっているため、着火後は図3のようにすぐにオイルパン全体に炎が広がる。その後図4のように炎に焙られたスカートが燃え上がり、人形の全身に炎が拡大することがわかる。わずか1分ほどで図5のように着衣は燃えてしまう。

6.2　実験2：タンク転倒による燃え広がり

図6は着火直前、図7は着火後、図8は転倒中、図9は転倒直後、図10は転倒後10秒の状況である。

着火直前は注ぎ口に付いたホースの際までガソリンの表面が来ている状態である。着火は図7のように注ぎ口の先に行った。この炎を見て、給油作業をしている人が灯油用ポリタンクを落とすことを想定して、灯油用ポリタンクを落として転倒させてしまった状態として、図8と図9の状況を再現した。すぐに漏れたガソリンに引火し、図9、図10のように広い範囲に炎が広がる。実験では、図10のようにオイルパンの中だけで炎は収まっているが、もし、実際の駐車場で起こったとすれば、ガソリンが漏れ広がった範囲に炎が拡大するため、車両の周りに炎が広がり、炎が車両を包み込み車両火災へと進むことが考えられる。

図6　実験2の着火直前の状況

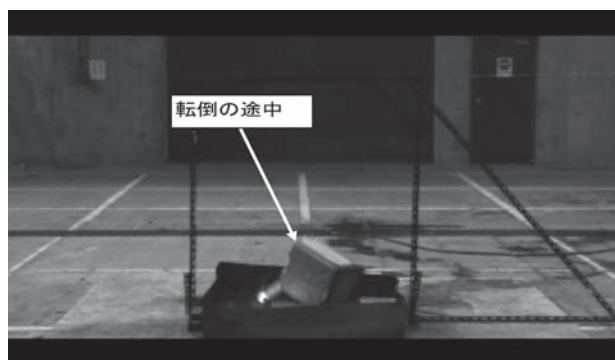



図7　実験2の着火直後の状況

図8　実験2の着火5秒後に転倒開始させた状況

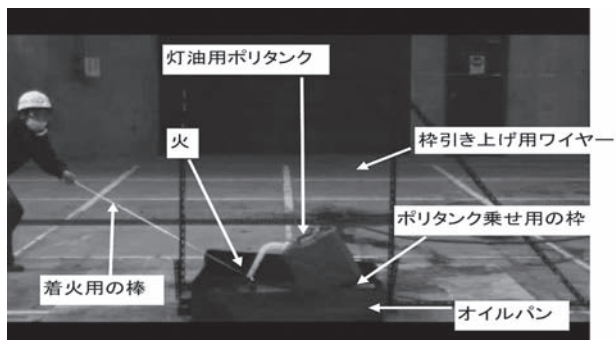



図9　実験2の着火6秒後に転倒した直後の状況

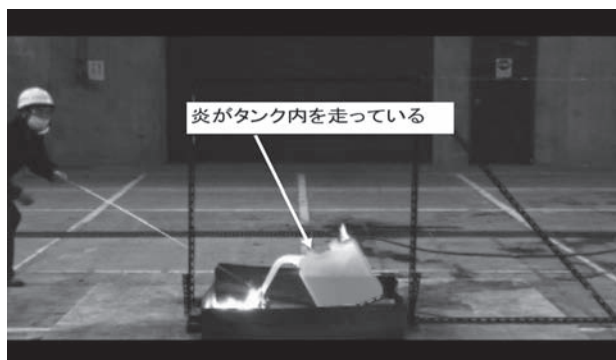
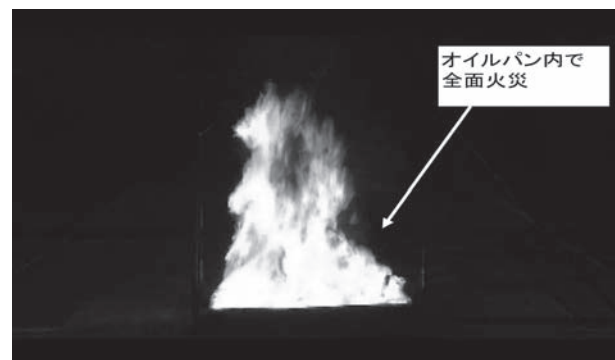



図10　実験2の転倒から10秒後の状況

７．灯油が灯油用ポリタンクに入っている場合

今回、灯油を用いた比較実験は実施しなかったが、灯油の物性から引火の傾向を考察し、2つの実験条件で灯油を用いた場合を予想してみる。

「２．ガソリンと灯油の違い」で示しているように、灯油の蒸気圧は0.35 kPa(37.8 ℃) 以下となっていて、水の蒸気圧6.55 kPa(37.8 ℃) よりも低く、気化する量が少ない。このため、常温において爆発濃度範囲の混合気を形成しない。爆発下限界に達する温度すなわち引火点が40℃以上であるため、常温では引火の危険性も少ない。引火点以下の灯油に引火させるには、灯油を引火点以上に温める必要があり、そのための熱エネルギーが必要である。小さな火花ではなくある程度大きな熱源が必要となる。ただし、石油ストーブのように芯を使えば、加熱された芯の表面で灯油が蒸発し燃焼が継続する[6)]。

これらのことから、漏えいした灯油蒸気への引火については、灯油を入れた灯油用ポリタンクの蓋が開いていて、そこに口火を近付けたとしても、簡単には引火しないと考えられる。また、二つ目の実験である灯油用ポリタンクの転倒については、先の漏えいした灯油蒸気への引火のように引火する条件が限られるが、仮に引火した状態で転倒させた場合であっても、漏えいしたガソリンのように爆発濃度範囲内にある油面上の燃え広がり速度とは大きく異なり、灯油の層の厚さ等の条件により、灯油の表面の伝熱の速度が燃え広がり方を大きく支配することになる[6)]。

８．実験から分かること

灯油との物性の違いが大きいガソリンを、ガソリンに対しては気密性や強度に問題がある灯油用ポリタンクに貯蔵することは、貯蔵中のみならず給油等の作業をするときにも火災の危険性が増大する。ガソリンは揮発しやすく引火も容易なため、一度引火してしまうと消火するのが困難になる。火災安全を考えると、消防法でも禁止しているように、ガソリンに適さない容器でのガソリンの運搬や貯蔵は避ける必要がある。

また、ここでは記載していないが、灯油用ポリタンクに貯蔵していたガソリンを、灯油と間違えてストーブやファンヒーター等に使ってしまう場合の危険性も考えられ、これについては別報でお知らせする。

なお、今回の実験は、消防研究センターの松原美之、箭内英治、古積　博、松島早苗、塩谷　誠、蘆川穂積、山田常圭、水田　亮、田村裕之、消防庁予防課消防技術政策室の阿部伸之が実施したものである。

参考文献

１）小売物価統計調査（東京都区部、平成19年及び20年各月)、総務省
２）第2版危険物データブック、東京消防庁警防研究会、p.156、p.416、丸善 (1993)
３）例えば、新日本石油商品安全データシート 00001、00102、01102
４）大江修造、物性推算法、pp.59-72、データブック出版社 (2002)
５）小野、静電気学会誌 vol.15, pp.125-133、静電気学会 (1991)
６）秋田一雄、火のはなしⅡ、pp.99-104、技報堂出版 (1986)

Fire Risk of Illegal Storage of Gasoline in a Polyethylene Container : Experiments on the Leaked Gasoline Vapor and the Rollover of an Ignited Container

(Abstract)

Hiroyuki Tamura

(Accepted July 29, 2008)

Due to the Difference in the properties between gasoline and kerosene, the transport and the storage of gasoline in polyethylene containers for kerosene are forbidden under the Fire Service Law. In the National Research Institute of Fire and Disaster, at the time of the open house 2008, we exhibited a series of experiments that showed the fire risk of illegal storage of gasoline in a polyethylene container for kerosene. In this paper, experiments on the leaked gasoline vapor and the rollover of an ignited container are introduced.

解　説

ガソリンのポリタンク容器貯蔵の火災危険性
ー石油ストーブにガソリンを誤注油した場合の危険性ー

松島　早苗

(平成20年8月4日受理)

1．はじめに

ガソリン価格が急激に上昇すると、消費者が少しでも安価なガソリンを提供するガソリンスタンドを探し求めて、ガソリンを購入する傾向が見られる。その時、消費者が違法とは知らずに、ガソリンを灯油用のポリタンク容器に入れて、運搬・保管することが考えられる。これら消費者のなかには、灯油用のポリタンク容器だからガソリンを入れても大丈夫と考えて行っていると思われるが、このことは絶対に行ってはならないと総務省消防庁でも国民に注意を呼びかけている[1)]。それは、ガソリンが揮発性の高い燃料であり、また誤った運搬･保管方法が、火災の発生につながることが懸念されるからである。

その火災の一つとして、石油ストーブにガソリンを誤注油した場合の火災が考えられる。石油ストーブへのガソリンの誤注油については、消防本部や石油ストーブメーカーから危険性が指摘されている。しかし、その火災要因の一つとして、ガソリンの運搬・保管に灯油用ポリタンク容器の使用が関係するのであれば、これは大きな社会問題である。

平成20年度消防研究センターの一般公開（4月18日実施）では、ガソリンのポリタンク容器貯蔵の火災危険性を実証する実験の一つとして、石油ストーブにガソリンを入れたときの火災実験を行った。この実験は、ガソリンのポリタンク容器貯蔵の危険性に関する情報提供として、「灯油用ポリタンク容器には、絶対にガソリンをいれてはいけない」という意識を広げる目的で行ったものである。

本解説は、石油ストーブにガソリンを誤注油した時の火災危険性を実験により検証し、その概要を、映像や参考資料[2～8)]等をもとに報告し、火災発生の危険性を周知することを目的とする。

2．実験概要

2.1　供試体

火災実験に使用した石油ストーブを図1に示す。このストーブは、A社のカートリッジタンクを持つ反射式の石油ストーブである。ガソリンの危険性を示すには、灯油を入れた状態とガソリンを入れた状態との実験を行って、両者を比較すべきところではあるが、石油ストーブへの灯油の使用は安全であるということは周知の事実であり、本実験の目的は、ガソリンの危険性を周知することであるので、はじめから石油ストーブにガソリンを使って火災実験を行った。

実験に使用したガソリンは、消防研究センター近隣のガソリンスタンドで購入したレギュラーガソリンである。ガソリンの運搬・保管には、金属製の携行缶を使用した。

図1　実験に使用したカートリッジ式の石油ストーブ

2.2　燃料の供給機構と漏洩

ここで使用したカートリッジ式の石油ストーブの燃料供給機構について簡単に説明する。石油ストーブの給油方式として使われているカートリッジ式給油の原理は、小鳥の水飲み器と同じ原理である[6)]。水飲み器では、小鳥が水を飲んだ量と同じ空気が外側から容器内に入り、水位が常に一定に保たれる構造となっている。カートリッジタンク内に灯油が入っている状態でも、灯油の蒸気圧が小さいため、図2の⑴に示すように、石油ストーブの

燃焼部下にある固定タンクの灯油の油面高さが、カートリッジタンクの給油口高さの位置に保たれ、安定した燃焼が継続する。

カートリッジタンクに、灯油の代わりに誤ってガソリンを入れた場合を考える。カートリッジタンク内では、ガソリンの蒸気圧によって、カートリッジタンクの内圧が大気圧よりも大きくなり、図2の⑵に示すように、カートリッジタンク内の燃料面を押し下げる方向に力が働く。カートリッジタンクから押し出されたガソリンは、石油ストーブの下に取り付けてある固定タンクにはいる。しかし、さらに、カートリッジタンクからガソリンが流出し続けると、固定タンク内はガソリンで溢れる状態になり、固定タンクからガソリンが溢流するようになる。つまり、カートリッジタンク内の圧力が高いと、カートリッジタンク内からガソリンが流出し、引火しやすい状況を作り出すのである。

2.3　実験場所

火災実験場所は、東京都調布市にある、消防研究センターの大規模火災実験棟内の主実験場（24m × 24m × 20m 高）を使用した。実験場を図3に示す。使用した石油ストーブの標準適室の面積は、取扱説明書によると、木造で約 $10m^2$ と表記されていたので、実験場の容積は、通常の部屋の大きさを床面積約 $10m^2$、高さ 2.3m とすると約500倍の大きさとなり、ガソリンが漏洩しても蒸気が拡散し易い状況である。そのため、実験場内の条件は、通常の部屋で行う実験条件より、ガソリン蒸気に着火しにくい状況である。

2.4　実験方法

火災実験場の床の保護、および石油ストーブから出火したときに、カートリッジタンク内のガソリン流出による火災拡大を防止する目的で、実験場中央に直径 80cm、高さ 20cm の円形の鋼製容器を置き、その中に石油ストーブを置いて実験を行った。また、ガソリン蒸気の密度[8]は、空気の密度を1とすると4から5と空気より重く下層に滞留しやすい。この鋼製容器は、石油ストーブから漏洩したガソリンの蒸気の拡散を低減する効果もある。

実験手順を以下に示す。

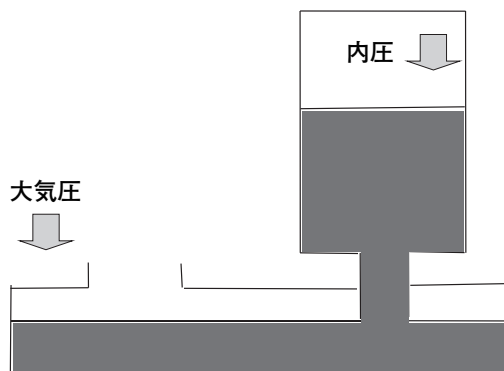
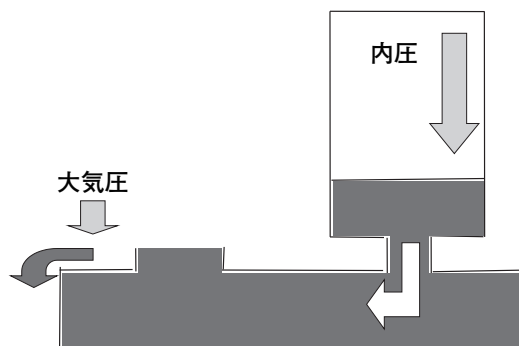
① 図4に示した石油ストーブのカートリッジタンク（容積約4リットル）の中にガソリンを入れ、石油ストーブに装着する。

⑴　灯油の場合（液面一定）

⑵　ガソリンの場合（溢流の発生）

図2　燃料供給の原理

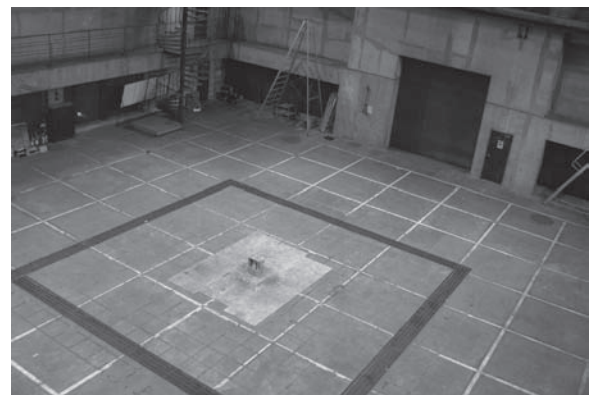



図3　大規模火災実験棟主実験場
（実験場中央におかれた石油ストーブ）

図4　上からみた石油ストーブ
（右側がカートリッジタンク）

ここでは、カートリッジタンク内のガソリンの量は、カートリッジタンクを石油ストーブに装着した状態で、ほぼタンク内に半分程度になるようにした[2)]。

② 点火つまみにて点火する。

通常石油ストーブを使用する場合、石油ストーブに注油した後、灯油が漏れていないかなど安全を確認してから、点火つまみで点火すると思われる。しかし、今回の火災実験では、ガソリンの危険性を短時間に再現する目的から、カートリッジタンクから、ガソリンが漏れ、石油ストーブの底板に流れていることを確認したあと、点火つまみにて点火した。点火時に、石油ストーブ周囲のガソリン蒸気に引火して、火炎により係員が火傷しないように、安全のために消防服を着て点火を行った。

2.5 実験結果

石油ストーブの燃焼状況、実験結果を以下に示す。

① 点火後、しばらく静観した。

石油ストーブは、通常燃焼を続けた。

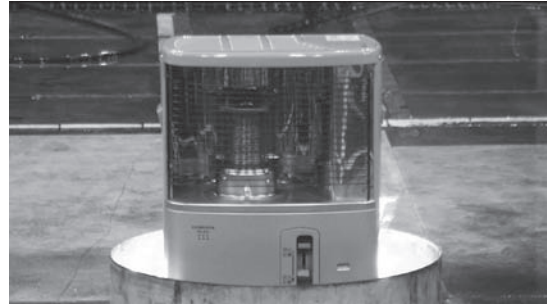
② 点火後1分9秒に、ボットいう音とともに、炎が一瞬立ち上がった。

石油ストーブの下側から立ち上る炎の様子を図6(1)に示す。これは、石油ストーブから漏れたガソリンに火がついたためである。

③ 点火後2分12秒に、炎は小さくなり、一度は火が消えたかのようにみえた。外見からは、石油ストーブの周囲に火炎は確認できなかった。

点火後2分30秒の石油ストーブ正面からの映像で確認すると、石油ストーブの点火つまみの部分や給油表示部のところに、火炎と思われる明るい映像が見られた。

石油ストーブのカバーを外した時の写真を図5に示す。

④ 点火後2分42秒には、図6(2)に示すように、石油ストーブの背後から突然火炎が立ち上り、その後、石油

(1) ガソリン蒸気に着火

(2) 石油ストーブの背後から炎上

図6　燃焼中の石油ストーブ

図7　火災実験後の石油ストーブの全体

図5　前面のパネルをはずした石油ストーブ

図8　燃焼した石油ストーブから取り出したカートリッジタンク（油面計が焼損）

ストーブ全体が火炎につつまれる状態となった。

これは、一瞬立ち上がった火炎、石油ストーブの点火つまみの部分や給油表示部に残っていた火炎が、カートリッジタンクを加熱する働きをして、そのためにカートリッジタンクからのガソリンの漏洩量が多くなり、その蒸気に着火したためと考えられる。

⑤　消火をしないで、そのまま燃焼を継続させた。
　火災実験後の石油ストーブの外観を図7に示す。

⑥　石油ストーブからカートリッジタンクを取り出して観察した。図8のように、給油タンクの油面計が、火災の熱により壊れている状態が認められた。

3．石油ストーブからの出火過程

3.1　ガソリンと灯油の性質

灯油もガソリンも消防法で危険物に指定されており、運ガソリンは、灯油に比べて引火し易い。消防法によれば、ガソリン、灯油は引火性液体として第4類の危険物として扱われている。第4類の中の引火点の違いで、ガソリンは引火点が21℃未満で第一石油類に、灯油は引火点が21℃以上70℃未満で第二石油類に分類されている。

蒸気圧を比較すると、37.8℃の時のガソリンの蒸気圧は44～78kPa、灯油の蒸気圧は0.35kPa以下である[7,8]。灯油の蒸気圧は、ガソリン蒸気圧の約1/100以下であり、灯油と比較してガソリンが非常に揮発しやすい性質の燃料といえる。また、ガソリンの蒸気圧は、温度があがるにつれて上昇する性質を持っている[6]。ガソリンスタンドで自動車に給油する時、ガソリンのにおいがすることから、経験的にガソリンは蒸発し易いことをご存じの方も多い。このように、ガソリンは、揮発性の高い燃料であることからも、ガソリンは、灯油に比べて引火し易く、危険性が高い燃料であるといわれるゆえんである。

3.2　ガソリンへの着火

固定タンクから溢れたガソリンは蒸発し、その蒸気に、最初は着火している石油ストーブの燃焼筒からの熱によって着火する。石油ストーブが着火すると、火炎からの熱が、ガソリンの入ったカートリッジタンクを暖める働きをする。そのような状態になると、カートリッジタンクのガソリン蒸気圧がさらに高くなり、カートリッジタンクからガソリンが押し出されることとなる。このように、一度石油ストーブに着火することにより、カートリッジタンクからのガソリンの溢流が促進され、火炎が大きくなる。また石油ストーブの焼損により、ガソリンがより流出し易くなることが予想される。

今回の火災実験でも、カートリッジタンク内にガソリンを入れ、石油ストーブに装着しても、すぐにはガソリンが漏れ出すことはなかった。また、はじめはガソリン蒸気の量も少ないので、点火スイッチの着火操作と同時に引火する可能性は低い。しかし、カートリッジタンク装着後、時間が経過するとタンクの外にガソリンが漏れ、ガソリンを入れた石油ストーブが突然発火する状況となる。ガソリンは非常に揮発しやすい油であるので、ひとたび着火すると消火が大変困難である。

4．終わりに

今回の石油ストーブにガソリンを入れた火災実験は、今まで行われていた誤注油に関しての資料を検討した上で行ったものである。この実証実験を契機に、石油ストーブへのガソリンの誤注油による火災危険性を再認識し、灯油用のポリタンク容器にガソリンを入れる行為がなくなれば、本火災実験の目的は達成したと考えている。

この実験には、消防研究センターの松原美之、箭内英治、山田常圭、古積　博、田村裕之、松島早苗、塩谷　誠、蘆川穂積、水田　亮と消防庁技術政策室　阿部伸之が担当した。本報告は、松島早苗が担当した。

最後になりましたが、本実証実験を全国に報道して頂いた各報道関係機関に紙上をもって御礼を申し上げます。

参考資料

1）http://www.fdma.go.jp/html/new/200404oil02.pdf
2）島田由夫、川崎昭：火災、p21, Vol.26, No.6 (1976)
3）原　實、土方忠道、宮川育郎：火災、p46、Vol.29、No.6 (1979)
4）新居秀敏：火災、p7、Vol.37、No.2 (1987)
5）那波英文、松原美之：日本火災学会研究発表会概要集、p228、No.2 (1995)
6）松原美之、那波英文：p35、消研輯報、第50号 (1996)
7）日本工業規格　自動車ガソリン　K2202－1999
8）新日本石油、商品安全データシート／整理番号01102

Fire Risk of Illegal Storage of Gasoline in a Polyethylene Container —Experiment on Kerosene Stove Accidentally Fueled by Gasoline—

(Abstract)

Sanae Matsushima

(Accepted August 4 , 2008)

The transport and the storage of gasoline in polyethylene containers are forbidden under the Fire Service law. However, it is possible that there are some consumers who don't know the regulation and use the polyethylene containers instead of steel containers for gasoline. Such illegal usage of polyethylene containers may cause accidental fueling of kerosene stoves by gasoline, which can result in fires. Experiments have been conducted to demonstrate the fire risk of accidental fueling of kerosene stoves by gasoline. The results are explained by the difference in the properties between gasoline and kerosene.

所外発表論文

目　次

Articles of Staff of NRIFD Published by Outside Organizations

Contents

総務省消防庁　消防大学校　消防研究センター
〒182-8508　東京都調布市深大寺東町4-35-3

http://www.fri.go.jp
National Research Institute of Fire and Disaster
35-3, Jindaiji Higashimachi 4-chome,
Chofu Tokyo 182-8508 Japan